

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PEMBANGKIT LISTRIK
BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV)
(Studi Kasus: Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Prodi Teknik Elektro



UIN SUSKA RIAU

oleh:

HAFIZH AL HADY

11555102905

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2023

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PEMBANGKIT LISTRIK *BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV)* (Studi Kasus: Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau)

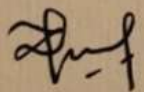
TUGAS AKHIR

oleh:

HAFIZH AL HADY
11555102905

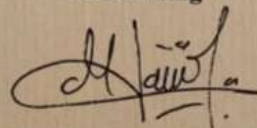
Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 19 Januari 2023

Ketua Program Studi



Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing



Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc
NIK. 130517054

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
a. Penulisan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Penulisan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PEMBANGKIT LISTRIK *BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV)* (Studi Kasus: Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau)

TUGAS AKHIR


oleh:

HAFIZH AL HADY
11555102905

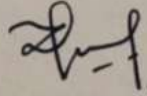
Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji,
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 19 Januari 2023

Pekanbaru, 19 Januari 2023

Mengesahkan,

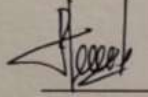
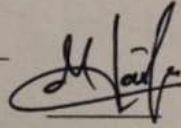
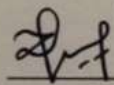
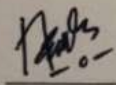

Dekan
Dr. Hartono, M.Pd.
NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Prodi


Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP. 19721021 200604 2 001

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Dr. Liliana, S.T., M.Eng.
Sekretaris : Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc.
Anggota I : Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
Anggota II : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc.

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebelumnya.

Pekanbaru, 19 Januari 2023

Yang membuat pernyataan



HAFIZH AL HADY
NIM.11555102905

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta dan Milik UIN Suska Riau

Hak Cipta dan Milik UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip, sebagian atau seluruhnya atau melakukan tindakan lainnya yang mengakibatkan pelanggaran hak cipta tanpa izin dari UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruhnya tanpa izin UIN Suska Riau.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٥﴾ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٦﴾

LEMBAR PERSEMBAHAN

“karena sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, bersama setiap kesulitan ada kemudahan” (Q.S Al Insyirah : 5 – 6)

“Untuk Ibu, Ibu Elviyantri Susi Tercinta dan Ayahanda Terhormat Hendri Yanto, Karya ini kupersembahkan untuk kalian tercinta”

Alhamdulillah puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, yang selalu memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya. Shalawat dan salam ucapkan kepada nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga zaman islamiah.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk orang tua yang telah memberikan saya kesempatan untuk bisa menjadi seorang anak yang mandiri dan terdidik, dengan kerja keras dan do’a – do’a yang selalu Ibu, Ayah panjatkan didalam sujudmu demi masa depan anak-anakmu, dan istri tercinta yang selalu memberi dukungan dan semangat. Semoga dengan menyelesaikan masa belajar ini kami berharap bisa menjadi kebanggaan untukmu. Ucapan terimakasih yang sangat besar bagi dosen pembimbing Ibu Marhama Jelita ,S.Pd., M.Sc., dan saudara perjuangan tenik elektro selaku wadah inspirasi. Semoga Allah limpahkan keberkahan, kesehatan dan umur yang panjang, tak sedikitpun jasa mu mampu terbalaskan, begitu luas dan dalam.

UIN SUSKA RIAU

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PEMBANGKIT LISTRIK *BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV)*

(Studi Kasus: Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau)

HAFIZH AL HADY
NIM. 11555102905

Tanggal sidang: 19 Januari 2023

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
JL. HR. Soebrantas KM 15,5 Pekanbaru

ABSTRAK

Kantor dinas Pekerjaan Umum merupakan instansi pemerintahan yang berfungsi untuk melayani urusan pemerintahan dibagian pekerjaan umum dan perumahan rakyat, luas bangunan sebesar 21.318 m² yang memiliki 8 lantai dan didominasi oleh kaca pada selubung bangunan dengan konsumsi listrik sebesar Rp.1.717.333.369 dengan penggunaan daya sebesar 1.895.673 kWh. Untuk mengurangi biaya listrik yang besar tersebut, penelitian ini menawarkan solusi berupa pembangunan sistem pembangkit listrik BIPV yang diintegrasikan pada kaca jendela bangunan kantor dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis aspek teknis dan ekonomis pada gedung kantor dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau. Metode yang digunakan BIPV *On-Grid System*. Dari perhitungan analisis teknis dan ekonomis pembangkit listrik BIPV pada kantor dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau, menghasilkan temperature PV rata-rata sebesar 303,5°K, dengan *losses* sistem sebesar 12,66%, sehingga energi listrik yang dihasilkan sebesar 114.8 MWh per tahun, rasio peforma 76%, dan kapasitas faktor 6,3%. Pada analisis ekonomis memerlukan investasi awal sebesar Rp.2.259.446.557 dan nilai *LifeCycle Cost* (LCC) sebesar Rp.2.769.768.430. Pada analisis finansial diperoleh nilai *Net Present Value* (NPV) positif sebesar Rp.9.503.705.047, *Internal Rate of Return* (IRR) 21,2% dan *Payback Period* sebesar 5,8 tahun. Pembangkit listrik BIPV yang terpasang pada kantor dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau dapat memenuhi kebutuhan pada kantor tersebut. Nilai NPV>0, IRR>0, dan *Payback Period* yang kecil dari umur sistem menyatakan pembangkit listrik BIPV dapat diterima.

Kata kunci: *Comsol Multyphysics, BIPV, On-Grid, STPV*

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF POWER PLANT BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (BIPV) (Case Study: Riau Provincial Public Works Office)

HAFIZH AL HADY
NIM. 11555102905

Trial date: 14 January 2023

Departement of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
JL. HR. Soebrantas KM 15.5 Pekanbaru

ABSTRACT

The Pekerjaan Umum service office is a government agency that functions to serve government affairs in the public works and public housing section, the building area is 21,318 m² which has 8 floors and is dominated by glass in the building envelope with electricity consumption amounting to Rp.1,717,333,369 with the use power of 1,895,673 kWh. To reduce these large electricity costs, this research offers a solution in the form of building a BIPV power generation system that is integrated into the windows of the Pekerjaan Umum Riau Province office building. The purpose of this study is to analyze the technical and economic aspects of the Pekerjaan Umum Riau Province office building. The method used in this study is the BIPV On-Grid System. From the calculation of the technical and economic analysis of the BIPV power plant at the Pekerjaan Umum Riau Province office, it produces an average PV temperature of 303.5°K, with system losses of 12.66%, so that the electrical energy generated is 114.8 MWh per year, performance ratio of 76%, and capacity factor of 6.3%. The economic analysis requires an initial investment of IDR 2,259,446,557 and a LifeCycle Cost (LCC) value of IDR 2,769,768,430. In financial analysis, a positive Net Present Value (NPV) of IDR 9,503,705,047 was obtained, the Internal Rate of Return (IRR) was 21.2% and the Payback Period was 5.8 years. The BIPV power plant installed at the Riau Province Pekerjaan Umum office can meet the needs of the office. The value of NPV>0, IRR>0 and Payback Period that is smallest from the age of the system indicates that the BIPV power plant is acceptable.

Keywords: Comsol Multiphysics, BIPV, On-Grid, STPV

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Salawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan alam, pembawa cahaya bagi kehidupan manusia yakni nabi Muhammad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin umat yang patut diteladani bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Atas berkat rahmat dan ridho Allah SWT penulis dapat Menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV) (Studi Kasus: Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau)”.

Sudah menjadi ketentuan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada program Sarjana S1 di UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir. Pada proses pembuatan Tugas Akhir banyak penulis dapatkan masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikannya, maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, baik itu berupa bantuan moral, materi, atau berupa pikiran yang tidak akan pernah terlupakan. Antara lain kepada:

1. Ibunda tercinta Elviyantri Susi, S.Pd, ayahanda terhormat Hendri Yanto, S.Sos yang telah memberikan semangat, dukungan moril, maupun materil dan doa kepada penulis.
2. Saudara kandung saya Hanifah Al Humaira yang menjadi penyemangat saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Khairunnas, S.Ag., M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Dr. Hartono, M.Pd, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
5. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T,M.T selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah membuat proses administrasi pada Jurusan Teknik Elektro menjadi lebih baik dan efektif.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PENYATAAN	v
LEBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GRAFIK	xx
DAFTAR RUMUS	xxi
DAFTAR SINGKATAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-5
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-5
1.4 Batasan Masalah.....	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Studi Literatur.....	II-1
2.2 Kantor Dinas Pekerjaan Umum (PU) Provinsi Riau	II-4
2.3 <i>Photovoltaic</i> (PV).....	II-5

2.4	Teori Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	II-5
2.4.1	PLTS Terpusat (<i>Off-Grid</i>)	II-6
2.4.2	PLTS Terinterkoneksi (<i>On-Grid</i>).....	II-6
2.4.3	PLTS <i>Hybrid</i>	II-6
2.5	Komponen PLTS <i>On-Grid Connection</i>	II-6
2.5.1	Modul Surya.....	II-6
2.5.2	Inverter	II-9
2.6	Cara Kerja <i>Photovoltaic</i>	II-10
2.7	Faktor yang Mempengaruhi Kinerja <i>Photovoltaic</i>	II-10
2.8	<i>Building Integrated Photovoltaic (BIPV)</i>	II-11
2.9	Persamaan Matematika BIPV	II-13
2.10	Sistem PLTS BIPV <i>On-Grid</i>	II-14
2.10.1	Menghitung Area <i>Photovoltaic</i>	II-14
2.10.2	Penilaian Lokasi PLTS	II-14
2.10.3	Penilaian Radiasi Matahari	II-14
2.10.4	Analisis <i>Shading</i>	II-15
2.10.5	Pemilihan Modul Surya	II-15
2.10.6	Sistem Pemasangan.....	II-16
2.10.7	Pemilihan Inverter.....	II-16
2.10.8	<i>Array Sizing</i>	II-16
2.10.8.1	Menyesuaikan <i>Array</i> Dengan Tegangan Inverter	II-17
2.10.8.2	Menyesuaikan <i>Array</i> dengan <i>Current Rating Inverter</i> ..	II-18
2.10.8.3	Menyesuaikan <i>Array</i> dengan <i>Power Rating Inverter</i>	II-18
2.11	Analisis Hasil Produksi PLTS.....	II-19
2.11.1	Menentukan Output dari PLTS ke <i>Grid-Connection</i>	II-19

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.11.2	Rasio Performa (<i>Performance Ratio</i>)	II-19
2.11.3	Faktor Kapasitas (<i>Capacity Factor</i>).....	II-19
2.12	Analisis Ekonomis.....	II-20
2.12.1	<i>Life-Cycle Cost Analysis</i> (LCCA)	II-20
2.12.2	<i>Power Wort Factor</i> (PWF).....	II-21
2.12.3	<i>Cash Flow</i>	II-21
2.12.4	<i>Net Present Value</i>	II-22
2.12.5	<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	II-22
2.12.6	<i>Payback Period</i> (PP)	II-22
2.13	Metode Penyelesaian Persamaan Matematika	II-23
2.14	Simulasi.....	II-23
2.14.1	Jenis-Jenis Simulasi	II-23
2.14.2	Kelebihan dan Kekurangan Simulasi.....	II-24
2.15	<i>Comsol Multiphysics</i>	II-24
2.16	<i>Autocad</i>	II-24
BAB III METODE PENELITIAN.....		III-1
3.1	Lokasi Penelitian	III-1
3.2	Prosedur Penelitian.....	III-1
3.3	Tahap Perencanaan.....	III-4
3.3.1	Identifikasi Masalah	III-4
3.3.2	Rumusan Masalah	III-4
3.3.3	Tujuan.....	III-4
3.4	Studi Literatur.....	III-4
3.5	Pengumpulan Data	III-5
3.5.1	Data Sekunder	III-5

3.6	Menghitung Potensi <i>Photovoltaic</i> (PV)	III-10
3.6.1	Melaksanakan Proses Awal.....	III-11
3.6.2	Perhitungan Numerik.....	III-14
3.6.3	Proses Akhir	III-14
3.6.4	Daya yang Dihasilkan PV	III-14
3.6.5	Validasi	III-14
3.7	Perhitungan Aspek Teknis dan Ekonomis.....	III-18
3.7.1	Aspek Teknis.....	III-18
3.7.1.1	Menghitung Luasan Kaca dan Jumlah PV	III-18
3.7.1.2	<i>Matching Array</i> dengan Inverter.....	III-18
3.7.1.3	<i>Losses</i>	III-18
3.7.1.4	Hasil Produksi Listrik	III-17
3.7.1.5	Peforma Rasio (<i>Ratio Peformance</i>)	III-17
3.7.1.6	Kapasitas Faktor (<i>Factor Capacity</i>).....	III-17
3.7.2	Aspek Ekonomis	III-17
3.8	Penilaian Kelayakan.....	III-18
3.9	Analisis.....	III-18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		IV-1
4.1	Potensi <i>Photovoltaic</i> (PV).....	IV-1
4.1.1	Menghitung Nilai Temperatur PV	IV-1
4.1.1.1	Parameter	IV-1
4.1.1.2	Geometri.....	IV-2
4.1.1.3	Material	IV-4
4.1.1.4	<i>Selecet Physics</i>	IV-5
4.1.1.5	Pemilihan Domain.....	IV-6

4.1.1.6	<i>Parameter Sweep</i>	IV-9
4.1.2	Efisiensi Sel PV	IV-11
4.1.3	<i>Losses</i> Akibat Temperatur	IV-12
4.1.4	Energi Listrik	IV-13
4.2	Analisis Teknis	IV-14
4.2.1	Luasan Wilayah PV	IV-14
4.2.2	Inverter	IV-16
4.2.2.1	Menyesuaikan <i>Array</i> dengan Inverter	IV-17
4.2.2.2	Menyesuaikan <i>Array</i> dengan <i>Current Rating</i> Inverter ...	IV-19
4.2.2.3	Menyesuaikan <i>Array</i> pada <i>Power Rating</i> Inverter	IV-19
4.2.3	<i>Losses</i>	IV-20
4.2.4	Hasil Produksi Listrik	IV-21
4.2.3.1	Daya yang Dihasilkan Perbulan dalam 1 Tahun	IV-22
4.2.3.2	Hasil Produksi Listrik per Tahun	IV-24
4.2.5	Rasio Performa (<i>Performance Ratio</i>)	IV-25
4.2.6	Faktor Kapasitas (<i>Capacity Factor</i>)	IV-25
4.2.7	Hasil Ringkasan Analisis Teknis Sistem BIPV	IV-25
4.3	Analisis Ekonomis	IV-26
4.3.1	Analisis Biaya	IV-26
4.3.1.1	Biaya Investasi Awal	IV-26
4.3.1.2	<i>Life Cycle Cost Analysis</i> (LCCA)	IV-28
4.3.1.3	<i>Cash Flow Analysis</i> (CFA)	IV-29
4.3.2	Analisis Finansial	IV-32
4.3.2.1	<i>Net Present Value</i> (NPV)	IV-32
4.3.2.2	<i>Internal Rate of Return</i>	IV-33

4.3.2.3	<i>Payback Period</i>	IV-35
4.3.2.4	Hasil Analisis Ekonomi Pembangunan Pembangkit Listrik BIPV	IV-35
	BAB V PENUTUP	V-1
5.1	Penutup.....	V-1
5.2	Saran.....	V-2

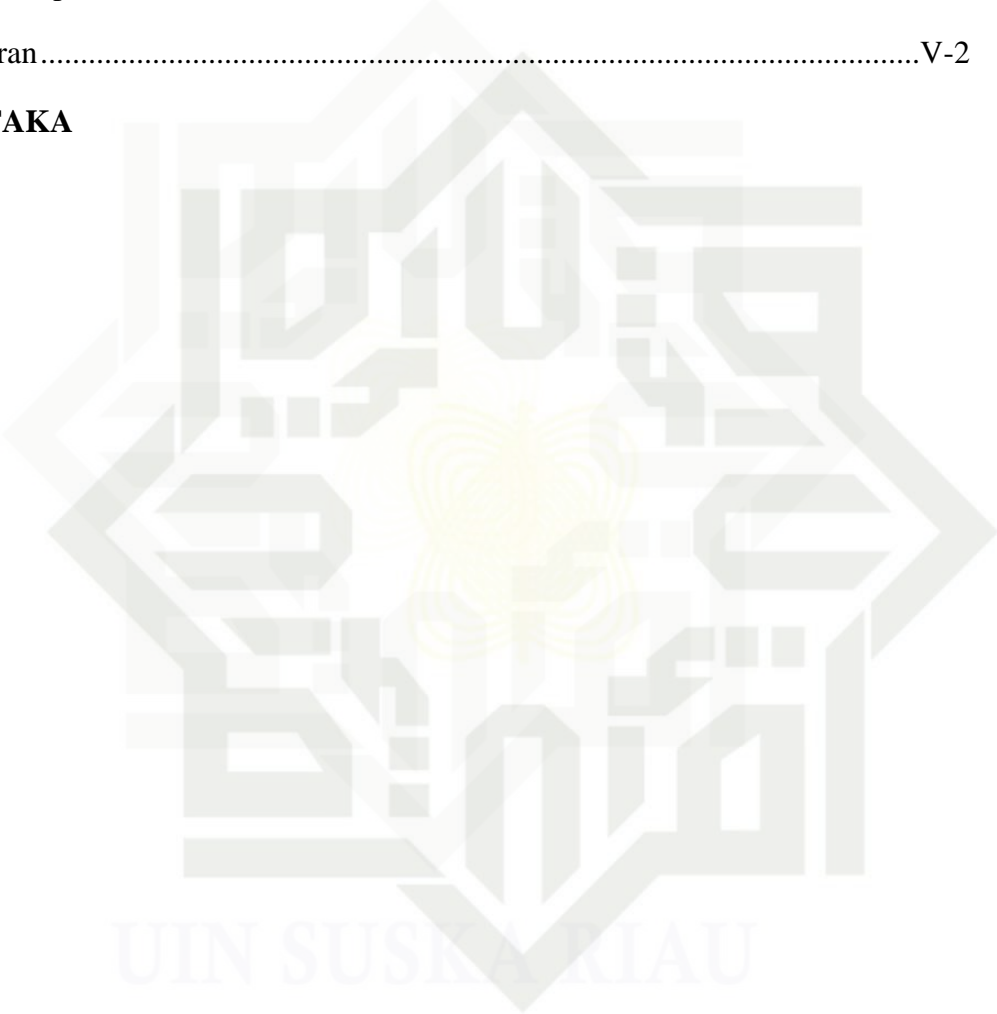
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip, sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Penulisan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Penulisan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR GAMBAR

2.1	Gedung kantor dinas Pekerjaan Umum provinsi Riau	II-4
2.2	Monokristal.....	II-7
2.3	Polikristal.....	II-7
2.4	<i>Thin Film Photovoltaic</i>	II-8
2.5	<i>Semi Transparent Photovoltaic</i>	II-9
2.6	<i>Facade</i>	II-12
2.7	<i>Window</i>	II-12
2.8	<i>Roof</i>	II-13
3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	III-3
3.2	Lokasi kantor dinas Pekerjaan Umum.....	III-6
3.3	<i>PV Watt Calculator</i>	III-6
3.4	<i>Resource data map PV Watt Calculator</i>	III-6
3.5	Sistem info <i>PV Watt Calculator</i>	III-7
3.6	Menentukan parameter pada <i>NASA POWER</i>	III-8
3.7	<i>Temperature</i> wilayah kantor dinas Pekerjaan Umum	III-9
3.8	<i>Flowchart</i> Simulasi	III-11
3.9	Logo <i>COMSOL Multiphysics 5.3a</i>	III-11
3.10	<i>Select Space Dimension</i>	III-12
3.11	<i>Select Physics</i>	III-12
3.12	<i>Select Study</i>	III-13
3.13	Parameter dalam <i>Comsol Mutyphysics 5.3a</i>	III-13
3.14	Pemodelan BIPV	III-14
3.15	<i>Input</i> Parameter pada Comsol	III-15

3.16	Material pada Comsol.....	III-15
3.17	Pola garis aliran temperatur ruang kaca ganda hasil simulasi	III-16
3.18	Pola garis temperatur ruang kaca ganda hasil jurnal	III-17
4.1	Parameter input <i>Comsol Multyphysics 5.3a</i>	IV-2
4.2	Geometri PV	IV-3
4.3	Bentuk simulasi BIPV	IV-3
4.4	<i>Add Material</i>	IV-4
4.5	Data material udara.....	IV-4
4.6	Data material kaca	IV-5
4.7	Data material PV	IV-5
4.8	<i>Laminar Flow (spf)</i>	IV-5
4.9	<i>Heat Transfer in Fluids (ht)</i>	IV-6
4.10	<i>Heat Radiation</i>	IV-6
4.11	Pemilihan Radiasi Matahari.....	IV-7
4.12	<i>Domain</i> radiasi matahari.....	IV-7
4.13	<i>Surface Emissivity</i>	IV-8
4.14	Pemilihan domain temperatur.....	IV-8
4.15	Temperatur	IV-9
4.16	<i>Parameter Sweep</i>	IV-9
4.17	Temperatur PV	IV-10
4.18	Tampak Barat	IV-14
4.19	Tampak Utara	IV-15
4.20	Tampak Selatan	IV-15
4.21	Tampak Timur	IV-16

DAFTAR TABEL

3.1	Radiasi Matahari dalam Satuan kWh/m ² /hari	III-7
3.2	Faktor Surya	III-8
3.3	Temperatur pada wilayah kantor PU	III-9
3.4	Spesifikasi Panel <i>Amorphous Silicone</i>	III-10
4.1	Nilai temperatur PV pada setiap orientas	IV-10
4.2	Efisiensi Sel PV	IV-11
4.3	<i>Losses</i> Efisiensi PV akibat temperatur	IV-12
4.4	<i>Energy Yield</i>	IV-13
4.5	<i>Losses</i> Pembangkit Listrik BIPV <i>On-Grid System</i>	IV-21
4.6	Ringkasan Analisis Teknis Pembangkit BIPV	IV-26
4.7	Biaya Investasi Awal BIPV <i>On-Grid System</i>	IV-27
4.8	Hasil <i>Life Cycle Cost Analysis (LCCA)</i> sistem BIPV	IV-28
4.9	BIPV <i>Anually</i> kas masuk.....	IV-30
4.10	BIPV <i>Anually</i> uang keluar.....	IV-31
4.11	<i>Net Present Value (NPV)</i>	IV-32
4.12	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	IV-33
4.13	Analisis Ekonomis Pembangkit Listrik BIPV	IV-35

UIN SUSKA RIAU
UIN SUSKA RIAU

DAFTAR GRAFIK

Hasil Produksi Energi Listrik dalam 1 Tahun Orientasi Utara.....	IV-22
Hasil Produksi Energi Listrik dalam 1 Tahun Orientasi Timur.....	IV-22
Hasil Produksi Energi Listrik dalam 1 Tahun Orientasi Selatan.....	IV-23
Hasil Produksi Energi Listrik dalam 1 Tahun Orientasi Barat.....	IV-23
Produksi Listrik BIPV dari tahun 1 sampai tahun ke-20.....	IV-24

Hak Cipta Nindiaji Utang Nandang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Penutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Penutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau
© Hascitra Ithi UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR RUMUS

2.1	Kontinuitas Energi.....	II-15
2.2	Persamaan konservasi momentum-X	II-15
2.3	Persamaan konservasi momentum-Y	II-15
2.4	Persamaan konservasi energi.....	II-15
2.5	Efisiensi sel surya	II-18
2.6	Eneergi yield.....	II-19
2.7	Minimum tegangan inverter	II-20
2.8	Maksimum tegangan inverter	II-20
2.9	Tegangan yang lebih tinggi	II-21
2.10	Jumlah maksimum modul.....	II-21
2.11	<i>String parallel array</i>	II-21
2.12	<i>String</i> pada inventer.....	II-21
2.13	Maksimum modul <i>array</i>	II-22
2.15	Rata-rata keluaran energi dari PV <i>array</i>	II-23
2.16	Rasio peforma.....	II-23
2.17	Kapasitas faktor	II-24
2.18	<i>Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)</i>	II-24
2.19	O&M.....	II-25
2.20	<i>Power Wort Factor (PWF)</i>	II-25
2.21	<i>Cash flow benefit (CFB)</i>	II-25

2.22	Cash flow cost (CFC)	II-26
2.23	Net Present Value	II-26
2.24	Internal Rate of Return (IRR).....	II-26
2.25	Payback Period (PP)	II-27

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
Hak cipta dilindungi Undang-Undang

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Penulisan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Penulisan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR SINGKATAN

PV	<i>Photovoltaic</i>
STPV	<i>Semi Transparent Photovoltaic</i>
PETS	<i>Pembangkit Listrik Tenaga Surya</i>
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaic</i>
PLN	<i>Perusahaan Listrik Negara</i>
LCCA	<i>Life-Cycle Cost Analysis</i>
PWF	<i>Power Wort Factor</i>
CF	<i>Cash Flow</i>
NPV	<i>Net Present Value</i>
IRR	<i>= Internal Rate of Return</i>
PP	<i>= Payback Period</i>

© Hak cipta dimiliki UIN Suska Riau
 © Hak cipta dimiliki UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengikis kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan disemua sektor. Konsumsi listrik sektor rumah tangga pada tahun 2020 sebesar 112.155,85 GWh meningkat pada tahun 2021 sebesar 115.370,05 GWh. Pada sektor industri tahun 2020 sebesar 72.239,86 meningkat pada tahun 2021 sebesar 80.904,45 GWh. Pada sektor bisnis tahun 2020 sebesar 42.819,32 GWh meningkat pada tahun 2021 sebesar 44.440,85 GWh. Dan pada sektor lainnya (sosial, pemerintahan, penerangan umum) tahun 2020 sebesar 16.367,72 GWh meningkat pada tahun 2021 sebesar 16.918,91 GWh. Penggunaan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan hampir di setiap wilayah yang ada di Indonesia termasuk Provinsi Riau [1].

Berdasarkan laporan data statistik Perusahaan Listrik Negara (PLN) 2020 penggunaan energi listrik di Provinsi Riau sebesar 4.967,05 GWh, meningkat dibanding tahun 2021 sebesar 6.108,32 GWh. Penggunaan energi listrik Provinsi Riau mengalami peningkatan hampir pada semua sektor yaitu pada tahun 2020 sektor rumah tangga sebesar 2.803,71 GWh mengalami peningkatan pada tahun 2021 sebesar 2.935,09 GWh. Pada sektor industri tahun 2020 sebesar 649,89 GWh mengalami peningkatan pada tahun 2020 sebesar 1.593,61 GWh. Pada sektor bisnis tahun 2020 sebesar 1.069,61 GWh mengalami peningkatan pada tahun 2021 sebesar 1.130,68 GWh. Pada sektor sosial tahun 2020 sebesar 203,12 GWh mengalami peningkatan pada tahun 2021 sebesar 222,55 GWh. Pada sektor gedung pemerintahan tahun 2020 sebesar 106,86 GWh mengalami peningkatan pada tahun 2021 sebesar 112,15 GWh. Akan tetapi pada sektor penerangan jalan umum pada tahun 2020 sebesar 133,86 GWh mengalami penurunan pada tahun 2021 sebesar 114,24 GWh. Peningkatan ini terjadi pada seluruh wilayah kota dan kabupaten di Provinsi Riau termasuk Kota Pekanbaru yang memiliki angka konsumsi energi tertinggi di Provinsi Riau [2].

Dari data yang dipublish oleh BPS Kota Pekanbaru yang menampilkan data penggunaan listrik Kota Pekanbaru pada tahun 2020. Pada sektor rumah tangga sebesar 75,292 GWh, sektor industri sebesar 17,349 GWh, sektor bisnis sebesar 79,195GWh, sektor sosial sebesar 8,426 GWh, sektor pemerintahan sebesar 4,5 GWh, dan sektor penerangan umum

sebesar 3,8 GWh [3]. Dari data statistik tersebut, sektor pemerintahan merupakan pengguna listrik terbesar keempat.

Sebagai Ibukota Provinsi Riau, Kota Pekanbaru otomatis dijadikan sebagai pusat pemerintahan Provinsi Riau yang terdapat gedung-gedung pemerintahan seperti Kantor Gubernur, Kantor DPRD Provinsi, Kantor Polda Riau, Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Riau dan Kantor Dinas Pekerjaan Umum (PU). Kantor PU memiliki tugas dan fungsi yaitu melayani urusan pemerintahan dibagian pekerjaan umum dan perumahan rakyat untuk membantu Presiden dalam menjalankan sistem pemerintahan negara [4].

Kantor Dinas PU Provinsi Riau terletak di Jalan SM. Amin, No.9A Simpang Baru, Kota Pekanbaru, Provinsi Riau. Dengan luas bangunan secara keseluruhan sebesar 21.318 m² yang diresmikan pada tahun 2013. Kantor Dinas PU memiliki 8 lantai, dilantai satu terdapat ruang sekretariat forum pensiunan PU, ruang dharma wanita, kantin, layanan perbankan, dan fasilitas lainnya. Sedangkan lantai 2-7 merupakan ruangan kerja perbagian di Dinas PU yaitu bagian Cipta Karya, bagian Bina Marga, bagian Sumberdaya Air dan Pemukiman, sedangkan lantai 8 dijadikan sebagai ruangan kepala dinas, bendahara dan ruang rapat [4].

Dalam wawancara yang dilakukan penelitian dengan bendahara kantor PU yaitu Bapak Fahrizal, S.Kom yang mengatakan bahwa “Pemakaian listrik pada kantor ini terbilang cukup besar tapi ini sepadan dengan semua fasilitas yang ada di gedung ini, masing-masing ruangan dilengkapi dengan peralatan listrik dilengkapi dengan *Air Conditioner*(AC), komputer dan lift, sehingga kantor Dinas Pekerjaan Umum mengeluarkan biaya listrik berkisar antara Rp.103.046.000-Rp.181.246.000, total setahunnya Rp. 1.717.333.360 dengan penggunaan daya listrik sebesar 1.895.673 kWh”. Listrik yang ada pada kantor Dinas Pekerjaan Umum di pasok oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara) dengan tarif per kWh sebesar Rp.1000 [5].

Pemakaian listrik kantor dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau tergolong besar, dibandingkan dengan konsumsi listrik Perpustakaan Soeman H.S. Perpustakaan Soeman H.S yang mempunyai 6 lantai dengan luas wilayah 1 hektar dan selubung bangunan yang didominasi oleh kaca. Bangunan ini dilengkapi dengan perangkat listrik seperti AC, lift, komputer dan lampu pijar dengan penggunaan energi listrik pada perpustakaan Soeman H.S sebesar Rp.1.596.000.000/tahun dengan energi terpakai sebesar 1.048.069 kWh/tahun.

Berdasarkan data listrik kantor PU, maka untuk mengurangi pemakaian listrik dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan potensi sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) di

wilayah Kantor Dinas PU. Energi Baru Terbarukan (EBT) yang dapat dikembangkan seperti angin dan matahari. Di wilayah kantor PU berpotensi angin dan matahari, potensi angin dengan kecepatan rata-rata angin pertahun sebesar 1,34 m/s [6] yang berarti kecepatan angin tergolong rendah dibawah standar, sedangkan dengan pemasangan panel surya dapat menghasilkan daya sebesar 434,5 Wh/m² [7]. Dengan data tersebut, memungkinkan energi surya dapat sangat berpotensi untuk dijadikan energi terbarukan dengan pembangkit listrik tenaga surya dengan memanfaatkan *Photovoltaic* (PV).

Terdapat berbagai macam metode dari pemasangan PV yaitu *Grounding System*, *Rooftop System*, *Canal Top System*, *Offshore System*, *Floating System*, *Building Integrated Photovoltaic*(BIPV). *Grounding System* merupakan suatu metode pemasangan dimana PV tersebut dipasang di atas permukaan tanah sehingga memerlukan lahan yang luas. *Rooftop system* merupakan metode pemasangan PV pada atap suatu bangunan. *Canal Top System* merupakan pemasangan PV diatas parit/sungai. *Offshore System* merupakan metode pemasangan PV pada lepas pantai. *Floating System* merupakan suatu metode pemasangan PV pada struktur yang mengapung di atas badan air, seperti di danau. BIPV merupakan suatu metode pemasangan PV pada fasad bangunan seperti dinding dan jendela bangunan [8].

Pada penelitian ini pemanfaatan potensi energi surya di kantor Dinas PU menggunakan metode pemasangan BIPV. Metode ini dipilih dikarenakan metode lain seperti *grounding* tidak ada lahan kosong untuk bisa digunakan metode *grounding* sistem. Bagian *rooftop* di kantor Dinas PU memiliki design tidak rata. Serta metode *Canal Top System*, *Offshore System*, dan *Floating System* pemasangan lainnya tidak bisa dilakukan karena media yang tidak tersedia disekitaran wilayah kantor Dinas Pekerjaan Umum.

Pemasangan BIPV di kantor Dinas PU dipilih pemasangan di jendela bangunan karena kantor Dinas PU memiliki *façade* yang didominasi oleh kaca jendela, sehingga potensi dari kaca jendela lebih besar. Dengan luas kaca jendela yang akan di pasang PV yaitu pada bagian barat seluas 298,44 m², bagian utara dan selatan seluas 973,88 m², dan bagian timur seluas 523 m² sedangkan luas atap bangunan 1.120 m². Dengan data luas tersebut, bagian jendela kaca lebih berpotensi dipasang PV dibanding dengan atap, dengan menggunakan panel yang transparan berjenis *Semi Transparent Photovoltaic* (STPV) bertipe *Amorphous Silicone* agar panel yang dipasang tidak menghalangi caha yang masuk ke dalam ruangan.

Dalam penelitian ini, akan meneliti studi kelayakan suatu PV yang di pasang pada bangunan Kantor Dinas PU. Studi kelayakan merupakan suatu metode yang dilakukan untuk menentukan apakah penelitian ini layak atau tidak jika dilakukan pada studi kasus tersebut. Studi kelayakan terdiri dari beberapa aspek yaitu teknis, ekonomis, lingkungan, sosial. Pada penelitian ini akan membahas tentang aspek teknis dan ekonomis.

Sebelum melakukan kajian aspek teknis, penelitian ini terlebih dahulu mengkaji potensi PV, untuk menghitung potensi PV, terlebih dahulu mencari nilai temperatur PV dengan menggunakan aplikasi *Comsol Multyphysics 5.3a* dengan menginput parameter yang dibutuhkan, setelah mendapatkan nilai temperatur maka akan diperoleh nilai efisiensi dan daya yang dihasilkan PV. setelah mengetahui potensi PV maka akan dilanjutkan ke analisis aspek teknis. Analisis teknis sangat penting dilakukan untuk mengetahui jumlah PV dengan menggunakan aplikasi *Autocad 2017*. Sistem BIPV yang akan dipasang dengan metode *On-Grid*, menghitung energi yang dihasilkan oleh PV yang juga dipengaruhi oleh *losses* yang dapat mempengaruhi output dari PV, serta menghitung peforma ratio dan kapasitas faktor [9]. Analisis ekonomis juga sangat perlu dilakukan, dengan menghitung nilai *Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)*, *Power Wort Factor (PWF)*, *Cash Flow*, *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Payback Period (PP)*.

Dari penjelasan diatas bahwasanya untuk meringankan biaya konsumsi listrik pada gedung kantor dinas Pekerjaan Umum provinsi Riau, maka pemasangan BIPV sangat perlu dilakukan. Pada penelitian ini penulis melakukan penelitian dengan menggunakan buku panduan GSES (*Global Sustainable Energy Solution*). Awal dari penelitian ini akan menghitung *assesment resource* yang diperoleh dari NASA POWER dengan menggunakan penelitian [10] untuk standar perhitungan temperatur PV serta efisiensi PV dengan menggunakan *software Comsol Multiphysics 5.3a*. Berdasarkan permasalahan dan peluang diatas, penulis ingin melakukan penelitian yang berjudul “**Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik *Building Integrated Photovoltaic (BIPV)* (Studi Kasus: Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau)**”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa potensi energi listrik panel surya BIPV di kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau?
2. Berapa aspek teknis pembangkit listrik BIPV di kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau?
3. Berapa aspek ekonomis pembangkit listrik BIPV di kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis potensi energi listrik panel surya BIPV di kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau.
2. Menganalisis aspek teknis pembangkit listrik BIPV di kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau.
3. Menganalisis aspek ekonomis pembangkit listrik BIPV di kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan batasan masalah agar penelitian yang dilakukan sesuai dengan tujuan pelaksanaan. Adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. BIPV yang diaplikasi hanya pada façade, yaitu di jendela kaca bangunan Kantor Dinas PU Provinsi Riau.
2. *Software* yang digunakan untuk menjalankan simulasi yaitu *Comsol Multiphysic 5.3a* dan *Autocad*.
3. Variabel teknis yang menjadi *output* dari *Comsol* yaitu temperatur, efisiensi, dan potensi listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik BIPV berdasarkan radiasi matahari, kecepatan angin dan tekanan di Pekanbaru.
4. Variabel ekonomi yaitu *Net Present Value (NPV)*, menghitung siklus hidup sekarang dan masa depan (*LCC*), menghitung *Internal Rate of Return (IRR)*, dan menghitung *Payback Period (PP)*.
5. Aliran udara dianggap laminar dan keadaan steady.
6. Penelitian hanya membahas sistem *On-Grid*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian tugas akhir ini akan dilakukan dengan mencari studi literature yang merupakan penelitian terkait dengan permasalahan yang ada dalam penelitian ini baik bersumber dari buku, jurnal, dan artikel yang akan dijadikan sebagai patokan untuk melakukan penelitian ini. Berdasarkan tinjauan pustaka yang pernah melakukan penelitian tentang *Building Integrated Photovoltaic (BIPV)* dengan hasil yang sudah dipublish sebagai berikut:

Penelitian yang berjudul “Analisis Peforma Listrik dan Termal Jendela Kaca Ganda *Low E* terintegrasi *Solar Window Semitransparent Photovoltaic (STPV)* di Riau”. Penelitian ini menggunakan metode FEM (Finite Element Method) yang diproses dengan aplikasi *Comsol Multyphysics 5.3a*. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis peforma listrik pada sistem jendela kaca ganda *Low E* yang terintegrasi STPV, menganalisis peforma termal yang dibangkitkan oleh sistem kaca ganda *Low E* yang terintegrasi STPV, dan menganalisis potensi pengurangan panas pada sistem jendela kaca ganda *Low E* yang terintegrasi STPV. Hasil dari penelitian ini adalah lebih efisien penggunaan jendela kaca ganda *Low E* terintegrasi STPV daripada penggunaan kaca tunggal yang tidak menghasilkan dapat listrik. Energi listrik yang dihasilkan pada arah timur sebesar 88.760 MWh memiliki efisiensi sebesar 0.077974, arah barat sebesar 88.294 MHw memiliki efisiensi sebesar 0.077966, dan arah utara sebesar 86.018 MWh memiliki efisiensi sebesar 0.077977 [10].

Penelitian yang berjudul “Perancangan Pembangkit Listrik *Building Integrated Photovoltaic (BIPV) On-Grid System*”. Penelitian ini dengan tujuan untuk merancang sistem Pembangkit Listrik BIPV *On-Grid* pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau dan menganalisis aspek teknis dan ekonomis BIPV pada gedung Rektorat UIN SUSKA Riau. Hasil dari penelitian ini dapat menghasilkan daya listrik sebesar 57.79 MWh/tahun pada tahun pertama dengan *losses* 15.86%. Untuk hasil ekonomis dengan biaya awal sebesar RP 1,535,432,913 dan uang masuk pertahun dengan rata-rata sebesar Rp. 225,831,858. Penjualan listrik hasil produksi PLTS menghasilkan nilai NPV bernilai positif sebesar Rp. 2,680,286,383. IRR

sebesar 10.6% dan Simple Payback (SP) selama 10.8 tahun selama umur proyek 20 tahun dan sistem BIPV *On-Grid* layak untuk dibangun [11].

Penelitian yang berjudul “*Numerical and Experimental Study of Heat Transfer in a BIPV-Thermal System*”. Penelitian ini melakukan perhitungan tentang instalasi BIPV untuk menganalisa penghematan energi, menganalisa suhu dan lainnya dengan menggunakan metode numerik dan metode eksperimen. Hasil dari penelitian ini adalah kecepatan aliran dengan rata-rata 0,4 m/s dan 1 m/s dari BIPV dengan tekanan masing-masing 0,3 Pa dan 2 Pa. Suhu udara diatur ke 0°C dan kecepatan udara 0,5 m/s. Konvektif koefisien aliran panas rata-rata dihitung menjadi 5,8 W/m²K untuk panel dan 8,6 w/m²K rata-rata isolasi keduanya adalah 7,1 W/m²K. Koefisien aliran panas divalidasi dengan kecepatan mulai dari 0,3 m/s ke 0,6 m/s, serta suhu ambien dari -10°C sampai 10°C [12].

Penelitian yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pemasangan PLTS yang menggunakan rancangan akan menghasilkan pemasukan yang baik untuk waktu yang akan datang. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah dengan area 855 m² dipasang panel surya berkapasitas 300 WP sebanyak 312 buah dan inverter 20 kW sebanyak 5 buah didapatkan output yang dihasilkan perbulan sebesar 10786,2 kWh dan output yang dihasilkan setiap tahun sebesar 131.232,1 kWh [13].

Penelitian yang berjudul “Pemodelan *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* untuk Menghasilkan Potensi Energi Listrik (studi kasus : Pekanbaru, Riau). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan pemodelan sistematis *façade* yang terintegrasi dengan PV dan menganalisis potensi dari energi listrik yang dihasilkan oleh *Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels* di kota Pekanbaru. Penelitian ini menghasilkan yaitu dari pemodelannya berupa kontur suhu yang menampilkan aliran dinding kengarah keluar dengan suhu sebesar 301,01°K yang bergerak menuju suhu yang lebih rendah sebesar 298,9°K, dan aliran gas pada celah udara berkecepatan maximum sebesar 0,005 m/s yang bergerak searah jarum jam. Potensi ini tergantung dari radiasi matahari, tebal kaca, dan suhu sel saat beroperasi PV [14].

Berdasarkan dari penelitian terdahulu terdapat percobaan yang dilakukan pada penelitian [10], [11], dan [13], dan percobaan simulasi yang dilakukan penelitian [12]. Maka perbedaan dari penelitian ini dengan sebelumnya adalah penelitian ini menghitung analisis



teknis dan ekonomis serta potensi listrik yang dihasilkan dari menggunakan pembangkit listrik dengan metode BIPV yang terintegrasi pada kaca jendela bangunan kantor dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau.

Penelitian ini berkaitan erat dengan penelitian [10] yang menganalisis performa antara *single window* dengan *double window* dengan kaca *Low E* yang terintegrasi dengan panel *semi transparent photovoltaic*. Sedangkan penelitian ini akan membahas studi kelayakan aspek teknis dengan menggunakan aplikasi *Comsol Multiphysics 5.3a* dan aplikasi *Autocad*, serta aspek ekonomis dengan menghitung pembangkit listrik BIPV yang terintegrasi dengan kaca jendela bangunan kantor dinas Pekerjaan Umum dengan menggunakan panel surya berjenis *semi transparent photovoltaic* bertipe *Amorphous Silicone*.

Perbedaan dari penelitian ini adalah sistem *double window* yang menggunakan panel *semi transparent photovoltaic* yang terintegrasi dengan *façade* bangunan berupa jendela kaca pada bangunan Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau, menghitung potensi pembangkit BIPV dengan nilai efisiensi, kemudian menganalisis aspek teknis berupa daya yang dihasilkan oleh PV secara keseluruhan, serta menganalisis aspek ekonomis dari pemasangan pembangkit listrik BIPV. Gedung tersebut merupakan satu-satunya bangunan tertinggi dibandingkan dengan gedung lain disekitarnya sehingga dapat menerima radiasi matahari, dengan luas jendela kaca setiap orientasinya yaitu: bagian barat seluas 298,44 m², utara dan selatan seluas 973,88 m², timur seluas 523 m² [5]. Dimana akan lebih maksimal untuk memanfaatkan energi matahari dalam sistem BIPV yang diintegrasikan pada kaca jendela bangunan gedung Kantor Dinas PU Provinsi Riau.

Penelitian ini menggunakan buku panduan GSES (*Global Sustainable Energy Solutions*). Penelitian ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi luas permukaan jendela kaca yang dapat dimanfaatkan untuk pemasangan PV. Dalam pemasangan sistem BIPV ini dilakukan analisis aspek teknis dan aspek ekonomis.

Keunggulan dari penelitian ini akan menghitung *assessment resource* menggunakan penelitian [10] dan [12] untuk dijadikan standar perhitungan temperature pada PV serta efisiensi PV dari sistem BIPV dengan menggunakan aplikasi *Comsol Multiphysics 5.3a* dengan metode FEM (*Finite Element Method*) untuk mendapatkan hasil yang akurat sehingga mendapatkan hasil potensi dari penggunaan PV pada *façade* bangunan tersebut. Aplikasi ini mengeluarkan hasil aspek teknis yang meliputi daya listrik yang dihasilkan, rasio performa dan

faktor kapasitas. Untuk aspek ekonomis menggunakan penelitian [11] dilakukan dengan menghitung *Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)*, *Power Wort Factor (PWF)*, *Cash Flow*, *Net Present Value*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Payback Period (PP)*.

2.2 Kantor Dinas Pekerjaan Umum (PU) Provinsi Riau



Gambar 2.1 Gedung Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau

Kantor Dinas PU Provinsi Riau berlokasi di Jalan SM. Amin No. 9A, Simpang Baru, Tampan, Kota Pekanbaru dengan luas sebesar 21,318 m². Banguna yang terdiri dari 8 lantai ini diresmikan pada tahun 2013. Sebelum bertempat di Jalan SM. Amin, Kantor PU Provinsi Riau berada di Jalan Riau, dengan kondisi yang sudah tidak memadai lagi dengan Sumber Daya Manusia sebanyak 735 orang. Jumlah ini tidak sanggup lagi ditampung oleh kantor PU yang lama dengan luas bangunan 490 m², yang usianya sudah mencapai 55 tahun. Anggaran dana untuk membangun gedung baru ini mencapai Rp. 210 milyar [4].

Gedung ini memiliki banyak ruangan diantaranya pada lantai 1 terdapat ruang sekretariat pensiunan PU, ruang dharma wanita, kantin, layanan perbankan, dan fasilitas lainnya. Sedangkan lantai 2-7 merupakan ruangan kerja per bidang di Dinas PU, sedangkan lantai 8 menjadi ruang kepala dinas PU, bendahara dan ruang rapat. Ruangan tersebut masing-masing dilengkapi dengan *Air Conditioner (AC)*, dan Komputer, serta Lift pada setiap lantainya. Adapun total konsumsi perbulannya pada tahun 2020 berkisar antara Rp.103.046.000-Rp.181.246.000, total tahun 2020 sebesar Rp.1.717.333.360 dengan penggunaan daya sebesar 1.895.673 kWh [5].

2.3 Photovoltaic (PV)

PV adalah sel surya yang merupakan sel aktif yang menghasilkan energi yang tinggi atau listrik. PV merupakan proses dari yang mengkonversikan sinar matahari menjadi energi listrik. Sel PV mengambil sinar matahari menjadi energi utama yang dapat secara bebas, bersih, dan tidak bersuara. Umumnya digunakan untuk menghasilkan energi listrik dimana lokasi tersebut tidak tersedianya aliran listrik, digunakan pada satelit yang mengorbit, dan juga digunakan untuk alat elektronik seperti kalkulator [15].

Photovoltaic merupakan sel surya yang terangkai secara seri dan parallel untuk meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian system catu daya beban agar menghasilkan keluaran listrik yang optimal, bidang panel surya diharapkan harus selalu menghadap kearah matahari. Adapun perangkat utama *fotovoltaic* adalah gabungan dari beberapa sel surya yang telah terangkai dalam suatu modul. Efek PV pertama kali ditemukan oleh fisikawan asal Prancis, yang bernama Edmond Becquerel pada tahun 1839, pada usia 19 tahun. Akan tetapi ilmuwan Charles Fritts orang pertama yang membangun fotovoltaik padat yang melapisi lapisan selenium dengan lapisan emas untuk membuat persimpangan, dengan efisiensi 1%. Pada tahun 1946 Russell Ohl mematenkan panel surya semikonduktor *junction* modern, dan tahun 1958 semakin terkenal dengan digabungkannya pada satelit Vanguard I [16].

2.4 Teori Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan sebuah pembangkit listrik yang baru dan terbarukan yang memanfaatkan energi panas dan cahaya untuk menghasilkan listrik. Energi panas matahari digunakan untuk memanaskan air, sedangkan sistem panel surya mengkonversikan radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan *Photovoltaic Module*. Ketika PV menerima cahaya matahari maka akan mengeluarkan arus listrik searah (DC) lalu akan diubah mejadi arus bolak balik (AC) dengan menggunakan alat yang disebut inverter. Sistem pemasangan PLTS dibagi menjadi tiga macam yaitu sistem *off-grid* (terpusat), *on-grid* dan *Hybrid* [12].

2.4.1 PLTS Terpusat (*Off-Grid*)

PLTS *Off-grid* merupakan suatu pembangkit listrik alternatif yang diterapkan pada daerah terpencil yang tidak tersedia jaringan PLN, sehingga energi matahari menjadi energi satu-satunya yang dapat diandalkan untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan *Photovoltaic Module* [12].

2.4.2 PLTS Terinterkoneksi (*On-Grid*)

PLTS *on-grid* merupakan solusi *Green Energy* untuk daerah perkotaan. Sistem ini menggunakan modul surya yang tetap menghubungkan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan listrik semaksimal mungkin [12].

2.4.3 PLTS Hybrid

Sistem *hybrid* merupakan sistem yang mengkombinasikan 2 atau lebih sistem. Biasanya yang menggunakan sistem *hybrid* adalah genset, mikrohidro, PLTS dan pembangkit tenaga angin [12].

2.5 Komponen PLTS *On-Grid Connection*

Pada Penelitian ini menggunakan PLTS *On-Grid Connection* tanpa menggunakan baterai, umumnya terdiri dari komponen berikut:

2.5.1 Modul Surya

Modul surya merupakan bagian PLTS yang terdiri dari susunan sel surya, baik tersusun secara seri maupun secara parallel yang tersusun dalam satu bingkai dan dilapisi dengan pelindung untuk melindungi sel surya. Kemudian tersusun dari beberapa modul surya yang disebut *Array*.

Photovoltaic terbagi dari beberapa jenis yang dibedakan dari material dan efisiensi yang dihasilkan oleh masing-masing sel. Beberapa jenis *photovoltaic* adalah sebagai berikut:

1. Monokristal (*Mono-Crystalline*)

Monokristal memiliki efisiensi sebesar 15% yang menjadikannya panel surya dengan efisiensi paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan energi listrik yang tinggi. Akan tetapi panel ini memiliki kelemahan, panel ini tidak berfungsi bagus saat cuaca teduh yang menyebabkan efisiensinya turun drastis [17].



Gambar 2.2 Monokristal [17]

2. Polikristal (*Poly-Crystalline*)

Panel ini memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasikan dengan proses pengecoran. Panel ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibanding dengan monokristal. Panel ini memiliki efisiensi 11%-14% sehingga harganya juga relatif lebih rendah dibanding monokristal [17].



Gambar 2.3 Polikristal [17]

3. *Thin Film Photovoltaic*

Panel ini memiliki efisiensi 8,5%, sehingga luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dibanding monokristal dan polikristal. merupakan panel dua lapis dengan struktur lapisan tipis monokristal dengan amorphous. Inovasi terbaru dari *thin film* yaitu dengan tiga lapisan yang sangat efisien walaupun saat berawan dan 45% lebih efisien dibanding jenis panel lainnya dengan daya yang ditera setara [17].

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.4 Thin Film Photovoltaic [17]

Berdasarkan material, sel surya *thin film* digolongkan menjadi:

a. *Amorphous (a-Si) Solar Cell*

Sel ini pada produksinya dibentuk secara susun lapis/*stacking* yang mana *Amorphous silicon* ditumpuk terbentuklah sel surya dengan efisiensi sebesar 6%-8%.

b. *Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cell*

Bahan dasar dari sel surya ini adalah *cadmium telluride*, memiliki efisiensi 9%-11%.

c. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cell*

Sel surya jenis ini tidak mengandung bahan *cadmium* yang berbahaya seperti pada CdTe. Memiliki efisiensi sebesar 10%-12% [17].

4. *Semi Transparent Photovoltaic (STPV)*

STPV merupakan jenis terbaru dari PV yang memiliki bentuk transparan pada sisi sel suryanya. Panel ini memiliki efisiensi sebesar 15% dengan berbagai jenis tingkat transparannya. PV ini biasa digunakan pada jendela bangunan, atau tempat yang membutuhkan cahaya pada bagian dalam ruangnya sehingga diperlukan PV yang transparan [18].



Gambar 2.5 *Semi Transparent Photovoltaic* [18]

2.5.2 Inverter

Inverter merupakan suatu komponen yang merubah arus DC (searah) menjadi arus AC (bolak-balik). Panel surya menghasilkan arus DC yang akan diubah menjadi arus AC yang digunakan untuk perangkat yang menggunakan listrik. Inverter dapat memantau kinerja panel surya sehingga dapat memberikan informasi terbaru terhadap kinerja sistem [9].

Saat ini tersedia beberapa jenis inverter yang terbagi dari beberapa jenis yang dapat membentuk *single module* hingga *array*. Ada tiga jenis yang sering digunakan untuk PLTS, yaitu *string*, *central*, dan *micro* inverter. Dari jenis tersebut dibedakan berdasarkan kabel ya terpasang pada inverter

a. *Micro* Inverter

Inverter ini tersedia sejak tahun 1993 yang diproduksi kisaran 100-300W. kelebihan inverter ini dapat menggunakan lebih sedikit kabel DC karena keluaran dari modul daya AC langsung di paralelkan untuk setiap modul.

b. Inverter *String*

Inverter string biasanya digunakan untuk PLTS skala kecil dengan daya dibawah 10 kW. Kelebihan inverter string yaitu mudah diganti dan hemat waktu. Namun kelemahan yang menonjol yaitu kurangnya kinerja satu modul akan mempengaruhi daya output pada seluruh rangkaian.

Inverter Terpusat (*Central Inverter*)

Central Inverter biasa digunakan pada PLTS skala besar, inverter ini digunakan pada sistem yang berdaya antara 30kWp dan dari 100kWp [9].

Cara Kerja *Photovoltaic*

Cahaya matahari merupakan unsur kecil yang tersusun dari foton. Saat terpapar sinar matahari, foton akan mengenai atom semikonduktor silicon pada sel surya dan akan memisahkan elektron dari stuktur atom, lalu atom yang bermuatan negative tersebut dapat bergerak secara bebas dalam pita konduksi. Atom yang berpisah akan kehilangan strukturnya sehingga terbentuk kekosongan yang disebut “hole” yang bermuatan positif.

Daerah semikonduktor dengan elektron bebas bersifat negatif dan mendaji pendonor elektron. Daerah semikonduktor disebut semikonduktor tipe N. sedangkan eletron bermuatan positif disebut semikonduktor tipe P. dari persimpangan positif dan negatif (PN Junction), dan menghasilkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak berlawanan arah. Saat diberi beban berupa elektronik yang menggunakan energi listrik di PN Junction ini, maka akan menghasilkan daya listrik [19].

Faktor yang Mempengaruhi Kinerja *Photovoltaic*

Berikut factor yang mempengaruhi kinerja dari *photovoltaic* agar dapat bekerja secara maksimal:

- a. Suhu permukaan panel surya
Suhu dari permukaan panel surya saat menerima radiasi cahaya, dapat mengakibatkan *output* panel surya berbeda. Panel surya akan bekerja maksimum pada saat suhu dibawah 25°C, kenaikan suhu yang lebih tinggi akan membuat tegangan yang dihasilkan semakin melemah. Setiap kenaikan 1°C yang dimulai dari 25°C, makan efisiensi akan menuru 0,4% dari total tenaga yang dihasilkan.
- b. Radiasi cahaya
Radiasi cahaya sangat berpengaruh terhadap keluaran daya dari panel surya, dikarenakan cahaya merupakan sumber daya dari panel surya yang akan di konversikan menjadi energi listrik, semakin besar radiasi cahaya yang terkena modul maka semakin besar pula daya dan efisiensinya.

Kondisi atmosfer

Cuaca cerah, medung, hujan, sangat berpengaruh terhadap kinerja PV dikarenakan cahaya yang dipancarkan matahari berbeda-beda tergantung cuaca.

d. Sudut kemiringan

Sudut kemiringan memiliki dampak besar terhadap kinerja dari panel surya. Untuk daya maksimal didapatkan saat kemiringan panel surya sama dengan lintang lokasi. Pemasangan panel surya kearah garis katulistiwa akan membuat modul surya mendapatkan cahaya matahari yang optimal.

e. Efisiensi Inverter

Efisiensi inverter terdapat pada spesifikasi yang tertera pada data *sheet* dari inverter. Untuk meningkatkan efisiensi maka harus diketahui daya yang dapat dihasilkan PLTS yang menjadi input inverter, karena jika daya yang masuk ke inverter lebih besar maka efisiensi akan berkurang serta pemasangan inverter diusahakan tidak dibawah cahaya matahari langsung. Selain itu, pemasangan inverter harus berada dekat dengan ventilasi agar inverter dapat bekerja secara maksimum.

f. Pengurangan Sistem

Daya yang dihasilkan dari PLTS akan menurut seiring umur dari panel suryanya, biasanya 0.5% per tahun. Yang berarti dalam 25 tahun efisiensi akan menurun sebesar 12,5%. Garansi pada output daya dapat menjamin pengurangan efisiensi sebesar 0.9% per tahun. Sehingga menghasilkan efisiensi minimal 80% per tahun [9].

2.8 **Building Integrated Photovoltaic (BIPV)**

BIPV adalah suatu kombinasi PV dengan bagian dari selubung bangunan, yang mana panel surya diintegrasikan pada *façade* dari bangunan yang menyelimuti suatu bangunan. BIPV memiliki keuntungan tersendiri untuk bangunan tersebut yaitu bangunan yang sudah lama dapat menjadi lebih modern dengan dipasangnya teknologi panel surya di selubung bangunannya sehingga dapat terlihat lebih modern serta dapat meningkatkan nilai jual bangunan tersebut serta dapat memanfaatkan bagian yang pasif dari bangunan dapat berguna dan menghasilkan benefit untuk bangunan tersebut. BIPV juga tidak berisik, tidak mencemari lingkungan, dan tidak bergerak. BIPV juga dapat mengurangi pencemarah udara

yang disebabkan oleh bahan bakar fosil. BIPV juga tidak memerlukan lahan yang luas untuk pemasangannya [8]. Adapun jenis BIPV sebagai berikut:

1. Façade

Suatu model pemasangan PV yang diaplikasikan dengan konstruksi pada suatu bangunan, yang mana panel PV dipasang pada selubung bangunan bagian *façade* seperti dinding.



Gambar 2.6 Façade [20]

2. Window

Suatu model pemasangan PV yang menggunakan jendela bangunan sebagai tempat pemasangan PV dengan memanfaatkan sinar matahari yang mengenai jendela bangunan. Pada BIPV jenis ini menggunakan semi transparan panel surya agar cahaya tetap bisa masuk kedalam ruangan.



Gambar 2.7 Window [20]

3. Roof

Suatu model pemasangan PV yang menggabungkan bagian suatu bangunan dengan PV yang mana PV dipasang pada bagian atap bangunan.



Gambar 2.8 Roof [20]

2.9 Persamaan Matematika BIPV

Dalam penelitian [12], persamaan untuk mengatur kontinuitas konservasi energi, konservasi momentum dan konservasi energi adalah sebagai berikut.

Kontinuitas konservasi energi

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (2.1)$$

Persamaan konservasi momentum – X

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho u v) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial u}{\partial y}\right) \quad (2.2)$$

Persamaan konversi momentum – Y

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u v) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v v) - \frac{\partial P}{\partial y} - \rho g \beta (T - T_{ref}) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial v}{\partial y}\right) \quad (2.3)$$

Persamaan konservasi energi

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v T) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{K}{C_p} \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{K}{C_p} \frac{\partial T}{\partial y}\right) \quad (2.4)$$

Keterangan

K = konduktivitas termal udara ($W/m^{\circ}C$)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

u = kecepatan udara di arah x (m/s)

- v = kecepatan udara di arah y (m/s)
- g = gravitasi (10 m/s^2)
- ϵ = emisifitas
- k = energi kinetik turbulen PV
- x = arah horizontal aliran rongga udara
- y = arah vertical aliran rongga udara
- C = *Specific Heat* ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$)

2.10 Sistem PLTS BIPV On-Grid

2.10.1 Menghitung Area *Photovoltaic* (PV)

Area (*array*) merupakan luas wilayah yang akan dipasang PV. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan *software Autocad* untuk menghitung luas dari bangunan yang dipasang PV dan menghitung jumlah PV yang akan dipasang pada bangunan tersebut.

2.10.2 Penilaian Lokasi PLTS

Karakteristik dari lokasi dapat memberikan informasi penting untuk sistem pemasangan PLTS. Bagian utama dari sebuah sistem PLTS yaitu menentukan lokasi pemasangan PLTS dengan menentukan lintang, bujur dan ketinggian, orientasi jendela kaca bangunan yang digunakan dalam pemasangan PLTS, menghitung luas serta metode pemasangannya.

2.10.3 Penilaian Radiasi Matahari

Ada dua jenis sumber perhitungan untuk menentukan jumlah radiasi matahari yaitu secara langsung dan perhitungan dengan data satelit. Radiasi matahari merupakan jumlah energi yang dipancarkan matahari pada suatu lokasi yang dinyatakan dalam bentuk kWh/m²hari. Perhitungan secara langsung biasanya menggunakan *pyranometer* dan *pyrheliometer* yang dilakukan pada siang hari.

Perhitungan dari data satelit terdapat pada *meteorology database*, yang termasuk *database* online, yang memberikan informasi tentang dariasi matahari adalah *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)* dan *PVWatt Calculator*. *NASA Power* ini merupakan situs online milik *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*.



2.10.4 Analisis Shading

Dalam sebuah pemasangan sistem PLTS, perlu diketahui bayangan (*shading*) yang menghalangi PV untuk mendapatkan sinar matahari. Bayangan sedikit saja menghalangi PV dapat mengurangi output dari PV tersebut. bagian pemasangan PLTS minimal disinari cahaya matahari selama 6 jam sehari. Hal ini dapat menentukan lokasi pemasangan PLTS yang tepat dan memberikan estimasi yang akurat dari output tahunan sistem PLTS.

2.10.5 Pemilihan Modul Surya

Pemilihan modul surya yang akan dipasang termasuk faktor penting dalam membangun sistem PLTS. Modul surya yang biasa digunakan yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline*, dan *thin film*. Pemilihan modul ini dilakukan dengan menentukan efisiensi, area pemasangan serta biaya modul.

Salah satu factor yang berpengaruh untuk memaksimalkan hasil dari panel surya yaitu efisiensi dari modul surya. Efisiensi panel surya juga dipengaruhi oleh suhu panel saat beroperasi yang dapat mempengaruhi produksi pembangkit listrik tenaga surya. Sangat diperlukan untuk mengetahui suhu panel surya untuk penilaian efisiensi karena kenaikan suhu panel surya. Metode NOCT (*Nominal Operation Cell Temperature*) digunakan dalam penelitian ini. NOCT merupakan suatu nominal yang ditentukan oleh pabrikan panel surya tersebut. Dengan nilai parameter ini, dapat diperkirakan suhu panel surya (T_{panel}) berdasarkan suhu udara ambient (T_{amb}) dan iradiasi matahari yang memapar panel surya. Karena kenaikan suhu sel surya di atas nilai standar $25^{\circ}C$ adalah $0.5\% / C$, menghitung efisiensi panel surya adalah sebagai berikut:

$$\eta_{PV} = \eta_{ref}(1 - \beta_{ref}(T_{PV} - T_{ref})) \quad (2.5)$$

Keterangan:

- η_{PV} = Efisiensi panel (%)
- η_{ref} = efisiensi panel STC (%)
- β_{ref} = koefisien termal panel
- T_{PV} = suhu panel saat beroperasi (K)
- T_{ref} = suhu lingkungan

Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh BIPV, terlebih dahulu harus mengetahui energi yang diterima berupa intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas modul surya yang digunakan dengan persamaan [9].

$$\text{Energy Yield} = I \times P_{\text{max}} \times \text{Losses} \tag{2.6}$$

Dengan:

- Energy Yield* = Keluaran energi dari PV (Wh)
- I* = Intensitas radiasi matahari
- P_{max}* = Output daya dari nilai modul (Wp)
- η*Setelah *Losses* = total *losses* dalam bentuk efisiensi (%)

2.10.6 Sistem Pemasangan

Sistem pemasangan merupakan suatu metode dari pemasangan sistem PLTS yang ditentukan dari pihak yang akan memasang sistem PLTS tersebut. Pada umumnya sistem pemasangan digunakan sistem atap dan tanah.

2.10.7 Pemilihan Inverter

Inverter yang dipilih tergantung kapasitas modul yang akan terpasang. Inverter mengubah arus DC yang di hasilkan oleh PV lalu inverter mengubah arus tersebut ke arus AC dengan memaksimalkan output PLTS. Ada tiga jenis inverter yang biasa dipakai: inverter *string*, inverter *central* dan inverter *mikro*.

2.10.8 Array Sizing

Saat merancang sistem PLTS, menghitung *array sizing* sangat penting dilakukan, karena menentukan jenis modul dan jenis inverter harus sesuai dengan modul yang akan dipasang agar dapat menghasilkan *output* yang optimal. Berikut langkah-langkah untuk menentukan ukuran *array*:

1. menyesuaikan *array* dengan spesifikasi tegangan inverter,
2. menyesuaikan *array* dengan *current rating* inverter,
3. menyesuaikan *array* dengan *power rating* inverter [9].

2.10.8.1 Menyesuaikan Array Dengan Tegangan Inverter

Minimum tegangan inverter

Modul surya menghasilkan tegangan terendah saat cuaca panas. Sehingga *array* harus dirancang agar tegangan VMP *array* beroperasi pada suhu tinggi tidak jatuh dibawah tegangan MPPT minimum pada inverter. Untuk menentukan tegangan maksimal pada suhu modul dapat menggunakan persamaan berikut:

$$V_{MP} = V_{MP-STC} - [\gamma V \times T - T_{STC}] \tag{2.7}$$

Keterangan :

- V_{MP-STC} = Tegangan MPP pada kondisi pengujian standar (STC)
- γV = Koefisiensi suhu VMP
- T = Temperatur modul pada suhu udara ambien maksimum
- T_{STC} = Temperatur di STC

2. Maksimum Tegangan Inverter

Jumlah maksimum modul dihitung dengan suhu terendah ketika tegangan VOC modul berada pada titik tertinggi. Tegangan VOC digunakan untuk menggantikan tegangan VMP dikarenakan tegangan VOC lebih tinggi daripada tegangan VMP dan sebagai tegangan maksimum yang disediakan untuk inverter ketika *array* terhubung. Nilai VOC dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{OC\ CELL\ EFF} = V_{OC-STC} - [\gamma V_{OC} \times (T - T_{STC})] \tag{2.8}$$

Keterangan:

- $V_{OC\ STC}$ = tegangan rangkaian terbuka di STC
- γV_{OC} = koefisiensi suhu untuk V_{OC}
- T_{STC} = Temperatur modul STC
- T = Temperatur modul diharapkan terendah yang ditentukan (°C)

Perhitungan nilai VOC tidak dilakukan pada saat modul PV berada pada musim panas ataupun musim dingin. Nilai STC karena itu digunakan bersama dengan *factor* keamanan 5% untuk menghitung tegangan yang lebih tinggi [9].

$$V_{inverter} = V_{max\ input} \times 0.95 \tag{2.9}$$

Jumlah maksimum modul dihitung pada persamaan (2.10) dengan membagi tegangan inverter dengan VOC modul:

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{V_{\text{inverter}}}{V_{\text{OC MOD}}} \quad (2.10)$$

2.10.8.2. Menyesuaikan Array dengan Current Rating Inverter

Arus maksimum *array* yang dapat dihasilkan *array* harus lebih rendah daripada arus maksimum yang akan masuk ke inverter. Dapat dihitung dengan persamaan berikut untuk mencari nilai *Isc* [9]

$$I_{sc \text{ mod}} = I_{sc-stc} - [\gamma_{voc} \times (T - T_{stc})] \quad (2.11)$$

Keterangan :

- I_{sc-stc} = arus rangkaian terbuka di STC
- γ_{voc} = koefisien temperatur untuk VOC
- T = temperatur modul yang terendah di suhu yang ditentukan
- T_{stc} = temperatur modul stc

Untuk menghitung nilai maksimum *string* yang bisa beroperasi pada inverter dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah string MPPT 1} = \frac{I_{\text{max DC input}}}{I_{sc \text{ mod}}} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- $I_{\text{max DC input}}$ = arus maksimum inverter
- $I_{sc \text{ mod}}$ = arus modul pada suhu STC

2.10.8.3. Menyesuaikan array dengan power rating inverter

Saat array dihubungkan ke inverter, perlu diketahui jumlah arus, tegangan dan daya untuk mengetahui ukuran yang benar pada sistem PV. perhitungan arus dilakukan untuk mengetahui jumlah *string* dan modul. Perhitungan ini dilakukan agar mengetahui jumlah maksimal modul yang dapat dipasang ke inverter yang dipilih [9]. Jumlah maksimum modul dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{ukuran array} = \frac{\text{jumlah maksimum inverter}}{\text{daya modul}} \quad (2.13)$$

2.11 Analisis Hasil Produksi PLTS

Energi listrik yang dihasilkan oleh suatu sistem PLTS, dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu luas PV array, efisiensi sistem PLTS dan radiasi matahari.

2.11.1 Menentukan Output dari PLTS ke Grid-Connection

Dalam sebuah sistem PLTS, penting untuk dapat memperkirakan hasil energi dari sistem tersebut. energi yang dihasilkan sistem PLTS ditentukan oleh beberapa faktor yaitu ukuran PLTS, jumlah iradiasi yang diterima dan total efisiensi sistem Output energi rata-rata dari array PV dapat dihitung dengan rumus berikut[9]:

$$E_{array} = P_{stc} \times 365 \times H_{tilt} \times N \times Losses \quad (2.14)$$

Keterangan:

- E_{array} = Rata-rata keluaran energi dari PV array (Wh)
- P_{stc} = Output daya dinilai modul STC (W)
- H_{tilt} = Radiasi matahari (1 PSH = 1 kWh/m²)
- N = Jumlah modul dalam array
- $Losses$ = Total kerugian diterjemahkan kedalam efisiensi (%)

2.11.2 Rasio Performa (Performance Ratio)

Peforma Rasio (PR) didefinisikan sebagai rasio dari jumlah energi PV yang dikirim ke jaringan utilitas dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah teoritis energi yang dihasilkan oleh modul PV dibawah kondisi uji standar (STC) [11]. Persamaannya sebagai berikut:

$$\text{Rasio Peforma} = \frac{\text{Hasil Produksi Energi}}{\text{Produksi Energi tanpa Losses}} \quad (2.15)$$

2.11.3 Faktor Kapasitas (Capacity Factor)

Faktor Kapasitas pembangkit listrik adalah rasio *outpu* actual dari pembangkit listrik kapasitas faktor selama periode waktu dan *output* potensial jika telah beroperasi pada kapasitas penuh sepanjang waktu. Faktor kapasitas dari energi surya di Indonesia rata-rata sebesar 18% yang dipengaruhi oleh kualitas matahari yang melalui Indonesia. Secara

Keterangan :

$O\&M_p$ = Biaya *Present Value* O&M

O&M = Biaya O&M/tahun

n = *life time* proyek

r = Bunga bank

Bunga bank yang digunakan merupakan aturan yang ditetapkan oleh Bank Indonesia pada tahun 2020 sebesar 4,25% [22].

2.12.2 Power Wort Factor (PWF)

PWF merupakan suatu metode yang dilakukan untuk menghitung seluruh biaya pemeliharaan tahunan selama sistem yang digunakan pada tahun ke sekian dengan persamaan.

$$PWF = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (2.19)$$

Keterangan :

r = Tingkat bunga bank

n = jumlah tahun

2.12.3 Cash Flow

Kepemilikan dan pengoperasian pada suatu peralatan akan menimbulkan penerimaan *cast* (pendapatan-pendapatan) dan *cast* (pengeluaran-pengeluaran). Dari pendapatan – pendapatan dan penerimaan – penerimaan itulah yang disebut *cash flow benefit* sedangkan biaya – biaya disebut *cast flow cost* [21].

1. *Cash flow benefit* (CFB)

CFB diperoleh dari pelayanan – pelayanan yang diberikan peralatan selama umur pelayanan dan dari penjual pada akhir pelayanannya. Persamaan dari CFB sebagai berikut.

$$CFB = \sum_{t=0}^n Cost (1 + 0,05) \quad (2.20)$$

2. *Cash Flow Cost* (CFC)

CFC merupakan biaya yang timbul hanya sekali selama umur peralatan dan ada juga berulang selama umurnya untuk untuk pengoperasian dan pemeliharannya. Persamaan untuk menghitung nilai CFC sebagai berikut.

$$CFC = \sum_{t=0}^n \text{investasi} - PWF \quad (2.21)$$

2.12.4 Net Present Value (NPV)

NPV merupakan suatu metode yang digunakan untuk menghitung nilai bersih pada waktu sekarang. Metode ini terdiri dari CFB dan CFC [21]. Perhitungan NPV menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$NPV = \sum_{t=0}^n CFB - CFC \quad (2.22)$$

2.12.5 Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah besar tingkat keuntungan untuk melunasi pinjaman uang untuk mencapai keseimbangan kearah nol dengan pertimbangan keuntungan [23]. Untuk menghitung IRR dapat menggunakan persamaan berikut.

$$IRR = i_1 + \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_2 - i_1) \quad (2.23)$$

Keterangan :

IRR = Internal Rate of Return

NPV_1 = Net Present Value dengan bunga rendah

NPV_2 = Net Present Value dengan bunga tinggi

i_1 = tingkat bunga pertama (%)

i_2 = tingkat bunga kedua (%)

2.12.6 Payback Period (PP)

Payback Period adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi yang telah dikeluarkan kembali ke investor. Perhitungan PP dilakukan untuk mengetahui resiko yang terjadi dalam keuangan terhadap proyek yang telah dilakukan. Nilai dari PP yang kecil akan semakin baik yang artinya pengembalian modal investasi akan semakin cepat dengan waktu yang cepat [21]. Untuk menghitung Payback Period menggunakan persamaan berikut:

$$T = \frac{C}{S} \quad (2.24)$$

Keterangan:

T = Periode dana kembali dalam 1 tahun

C = Modal awal pemasangan BIPV

= Biaya dari Listrik yang terjual

2.13 Metode Penyelesaian Persamaan Matematika Numerik

Metode numerik adalah metode yang digunakan untuk memecahkan masalah matematika dengan menggunakan perhitungan aritmatika (kali, bagi, tambah, kurang). Secara garis besar metode numerik diartikan sebagai suatu cara perhitungan dengan menggunakan angka.

2.1. Analitik

Metode analitik merupakan suatu metode yang menggunakan rumus-rumus aljabar yang baku. Metode analitik biasanya menghasilkan nilai dalam bentuk angka.

3. Eksperimen

Metode eksperimen adalah suatu metode penelitian ilmiah yang memanipulasi dan mengontrol satu variabel atau lebih variabel bebas dan melakukan pengamatan terhadap variabel terikat yang dipilih untuk menemukan variasi yang muncul bersamaan dengan memanipulasi variabel bebas tersebut [24].

2.14 Simulasi

Simulasi merupakan suatu teknik penyelesaian suatu masalah secara ril dengan pengoperasian sistem imitasi untuk memperoleh hasil *output* yang dapat menunjukkan karakteristik sistem operasional sebagai bahan yang berguna untuk penyusunan solusi persoalan. Simulasi dapat menghasilkan *output* yang valid sebagai penyusun persoalan sistem ril dengan penggunaan model dan prosedur yang sesuai untuk penyelidikan, analisis, dan evaluasi operasi sistem [25].

2.14.1 Jenis-Jenis Simulasi

Adapun jenis-jenis simulasi pada perangkat lunak adalah sebagai berikut:

1. Simulasi *Analog*, yaitu simulasi yang menggunakan perangkat elektronika *analog*.
2. Simulasi *digital*, simulasi yang menggunakan perangkat komputer *digital*.
3. Simulasi *hybrid*, merupakan simulasi yang menggabungkan simulasi analog dan simulasi *digital*.

2.14.2 Kelebihan dan Kekurangan Simulasi

Adapun kelebihan dari simulasi yaitu:

1. Dapat mempejari interaksi internal yang kompleks
2. Mengamati sifat model dan hasil keluaran akibat perubahan lingkungan luar atau variabel internal
3. Meningkatkan kinerja sistem melalui pembangunan pembentukan model

Adapun kekurangan dari simulasi yaitu:

1. Masalah yang terjadi hanya dapat diselesaikan dengan metode sederhana
2. Masalah hanya dapat diselesaikan secara analitik
3. Eksperimen langsung lebih mudah digunakan
4. Biaya yang mahal
5. Sumber daya atau waktu yang tidak tersedia
6. Sistem tidak dapat didefinisikan [25].

2.15 Comsol Multiphysics

Comsol Multiphysics merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk pemodelan dan pemecahan masalah sains dan teknik berdasarkan pada persamaan differensial parsial (PDEs). Dengan *software* ini dapat memudahkan memperluas model fisika menjadi multi fisika yang dapat memecahkan gabungan dan menyelesaikan fenomena fisika [26].

Ketika pemecahan PDEs, COMSOL menggunakan analisis dengan metode FEM (*Finite Element Method*). *Software* ini memproses analisis elemen hingga perjamaan jaringan adaptif dan mengontrol error dengan berbagai pemecahan numerik. PDEs menyediakan *basic* untuk menggambarkan model fenomena ilmiah dan rekayasa dan membentuk dasar hukum sains. *Comsol Multiphysics* digunakan untuk menghitung aspek teknis, berupa *temperature* modul surya saat beroperasi serta menghitung daya yang dihasilkan oleh modul surya.

2.16 Autocad

Autocad merupakan semua perangkat lunak yang dapat digunakan untuk membuat pemodelan arsitektur baik 2 dimensi maupun 3 dimensi. *Autocad* merupakan aplikasi berbasis CAD yang mana aplikasi ini lebih banyak digunakan dibanding dengan produk lain yang sama. Aplikasi ini diproduksi oleh perusahaan yang bernama autodes yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1982 dengan versi *Autocad* 2017. Aplikasi ini lebih banyak

digunakan bahkan orang awam sekalipun karena terkenal penggunaannya yang mudah [27]. *Autocad* digunakan untuk menghitung luas permukaan yang akan dipasang BIPV sehingga dapat diketahui jumlah modul surya yang akan dipasang.

Halaman Diindungi Undang-Undang

© HAK Cipta milik UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Di larang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Penulisan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Penulisan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Di larang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Kantor Dinas PU Provinsi Riau terletak di Jalan SM. Amin No. 9A, Simpang Baru, Tampan, Kota Pekanbaru dengan luas sebesar 21.318 m². Banguna yang terdiri dari 8 lantai ini diresmikan pada tahun 2013. Sebelum bertempat di Jalan SM. Amin, Kantor PU Provinsi Riau berada di Jalan Riau, dengan kondisi yang sudah tidak memadai lagi dengan Sumber Daya Manusia sebanyak 735 orang. Jumlah ini tidak sanggup lagi ditampung oleh kantor PU yang lama dengan luas bangunan 490 m², yang usianya sudah mencapai 55 tahun. Anggaran dana untuk membangun gedung baru ini mencapai Rp. 210 milyar [4].

Penelitian ini mengambil studi kasus di Kantor Dinas PU dengan alasan bangunan tersebut memiliki fasad yang didominasi oleh kaca yang luas daripada atap bangunan tersebut, sehingga dapat dipasang sel surya lebih banyak pada bagian fasad. Kantor PU mengeluarkan biaya listrik yang cukup besar setiap bulannya, berkisar antara Rp.103.046.000-Rp.181.246.000, dengan total setahunnya Rp. 1.717.333.360 dengan penggunaan daya sebesar 1.895.673 kWh. Akan tetapi saat listrik *down*, Kantor PU masih dilengkapi dengan *backup* energi berupa Diesel untuk sumber energi cadangan [5].

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini awal mulanya dimulai dari tahap perencanaan kemudian mengidentifikasi masalah, menemukan rumusan masalah, tujuan, jadwal penelitian dan menentukan tahap perencanaan. Tahap berikutnya mencari studi literatur dari jurnal, buku dan artikel yang berkaitan dengan penelitian ini. Langkah selanjutnya dilakukan pengumpulan data sehingga dari data tersebut simulasi BIPV dapat dilakukan. Data yang diperlukan adalah radiasi matahari, luas bangunan, jenis material kaca bangunan, dan data lapisan sel PV. Setelah data didapat maka akan dilakukan perhitungan temperatur BIPV, efisiensi dan daya listrik yang dihasilkan oleh modul PV dengan menggunakan *software comsol multyphysic 5.3a*. Pada aplikasi *comsol* peneliti akan memasukkan data luas kaca bangunan, radiasi matahari, dan temperatur.

Setelah mengetahui analisis temperatur BIPV, peneliti selanjutnya akan menghitung analisis teknis dan ekonomis. Aspek teknis pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran luas

dari kaca jendela bangunan untuk mengetahui jumlah modul surya yang dapat dipasang pada jendela tersebut sehingga dari jumlah modul yang digunakan akan diketahui berapa watt daya listrik yang dihasilkan dengan terlebih dahulu menghitung temperatur sel PV. Setelah menghitung temperatur maka bisa dihitung potensi efisiensi yang dihasilkan oleh PV dan akan dapat dihitung potensi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik BIPV. Analisis ekonomis akan BIPV akan dilakukan dengan menghitung siklus hidup (LCC), menganalisis proyek *Net Present Value* (NPV), menghitung *Internal Rate of Return* (IRR) dan menghitung *Payback Period* (PP).

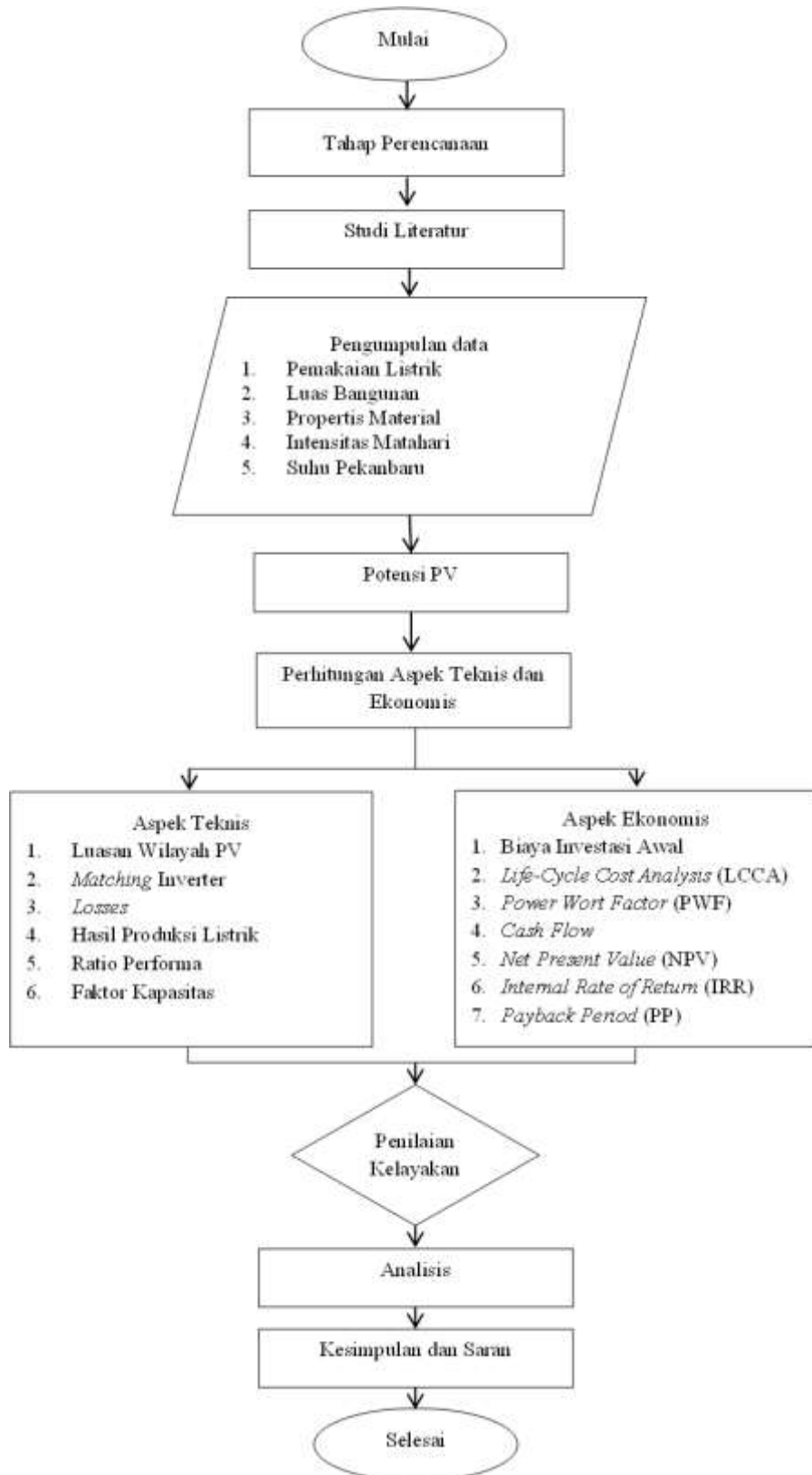
Berdasarkan penjabaran diatas maka dalam penelitian ini peneliti membuat skema yang berupa diagram alir dengan tujuan agar penelitian dapat dilakukan dengan lebih terarah dan lebih jelas. Adapun langkah yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada diagram dibawah ini:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis atau tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Penutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Penutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.3

Tahap Perencanaan

3.3.1

Identifikasi Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah untuk mengurangi angka konsumsi energi listrik pada gedung Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau, maka perlu pemasangan PLTS BIPV sistem pada bangunan tersebut. BIPV (*Building Integrated Photovoltaic*) adalah suatu sistem pemasangan PLTS yang diintegrasikan pada fasad bangunan yang dapat membuat bangunan terlihat lebih baik dari sebelumnya. Pada studi kasus Kantor Dinas PU Provinsi Riau, BIPV akan dipasang pada jendela kaca bangunan yang akan dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dan juga untuk mengurangi konsumsi listrik yang berlebih pada bangunan.

3.3.2

Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah menganalisis potensi PV yang dihasilkan oleh pembangkit listrik BIPV pada bangunan kantor PU Provinsi Riau serta menganalisis kelayakan teknis dari pembangkit listrik BIPV dan menganalisis kelayakan aspek ekonomis dari pembangkit listrik BIPV pada bangunan kantor PU Provinsi Riau.

3.3.3

Tujuan

Tujuan dari penelitian adalah mengetahui potensi yang dapat dihasilkan oleh pembangkit BIPV serta aspek kelayakan teknis dari penggunaan pembangkit listrik BIPV pada Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau, dan untuk menganalisis kelayakan aspek ekonomis pembangkit listrik BIPV pada Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau.

3.4

Studi Literatur

Studi literatur memiliki peran yang sangat penting dalam sebuah penelitian, yang akan menjadi acuan yang akan dimanfaatkan untuk menyelesaikan suatu masalah secara ilmiah. Pada pelaksanaan penelitian ini, penulis melakukan pengumpulan data dari penelitian terkait yang bersumber dari jurnal, buku, dan artikel untuk dilakukan *literature review* baik nasional maupun internasional sebagai pendukung untuk memecahkan permasalahan dalam penelitian ini.

3.5

Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data berupa data sekunder yang merupakan data yang sudah pernah ada yang dapat langsung diolah untuk keperluan sebuah penelitian yang diambil dari jurnal, artikel, buku, dan sebagainya. Penelitian ini data yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

3.5.1

Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini berupa:

1. Data bangunan

Data bangunan diambil dari dokumen yang tersedia di Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau, berupa luas kaca jendela bangunan pada bagian barat seluas 298,44 m², bagian utara dan selatan 973,88 m², dan bagian timur seluas 523 m², dengan ketebalan kaca jendela 10 mm, emisimitas kaca jendela.

2. Data konsumsi listrik

Data konsumsi listrik Kantor PU Provinsi Riau diambil dari bendahara Kantor PU Provinsi Riau, serta mewawancarai beliau mengenai masalah konsumsi listrik tersebut. Adapun data yang peneliti ambil data 1 tahun terakhir yaitu tahun 2020 yang berkisar antara Rp.103.046.000 sampai Rp.181.246.000 dan total dalam satu tahunnya sebesar Rp.1.717.333.369, dengan daya listrik yang digunakan sebesar 1.895.673 kWh.

3. Data dari situs online

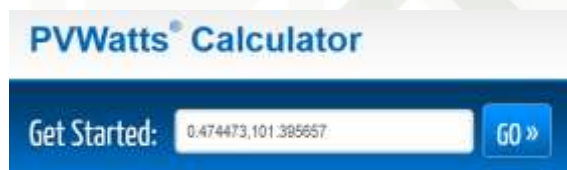
Data ini diperoleh dari jurnal dan situs yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berupa rata radiasi matahari dan suhu di wilayah Kantor Dinas Pekerjaan Umum yang diperoleh dari *PVWATT Calculator* dan *NASA POWER*.

4. Data Radiasi Matahari

Dalam mensimulasikan penggunaan BIPV pada kaca jendela, diperlukan data radiasi matahari karena radiasi matahari adalah sumber utama dari BIPV. Nilai radiasi matahari dapat dilakukan langsung di lapangan dan juga bisa didapat dari data yang terdapat disitus-situs pemerintahan dan situs international. Penelitian ini dilakukan di Kantor Pekerjaan Umum Provinsi Riau, titik koordinat pada *Google Maps* dengan latitudo 0.474473 dan longitudo 101.395657 [28].



Gambar 3.2 Lokasi Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau [28]



Gambar 3.3 PV Watt Calculator [29]

Setelah memasukkan data koordinat tersebut, mata PV Watt akan menampilkan *Resource Data Map*. Lalu klik *Go to System Info*.



Gambar 3.4 Resource Data Map PV Watt Calculator [29]

Pada bagian halaman Sistem Info, akan menampilkan kolom yang akan mengisi kolom *Tilt(deg)* dan *Azimuth deg*. Kolom *tilt deg* akan diisi sesuai posisi pemasangan PV, 0° = Horizontal dan 90° = vertikal. Pada penelitian ini akan dipasang secara vertikal jadi kolom *tilt(deg)* diisi 90° . Azimuth adalah sudut yang menggambarkan arah yang dihadapi array. Pada kolom ini peneliti menggunakan sudut 0° arah utara, 90° arah timur, 180° arah selatan, dan 270° arah barat. Lalu tekan *Go to PVWatts Result* [29].



Gambar 3.5 Sistem info PV Watt Calculator [29].

Setelah menekan *Go to PVWatt Result*, maka situs akan menampilkan data *Result* yang menampilkan data radiasi matahari dari arah utara, timur, barat, dan selatan dengan cara mengganti derajat pada kolom Azimut.

Tabel 3.1 Radiasi Matahari [29].

No	Bulan	Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)			
		0°(Utara)	90°(Timur)	180°(Selatan)	270°(Barat)
1	Januari	1.59	2.24	2.61	2.05
2	Februari	1.63	2.30	2.35	2.15
3	Maret	1.66	2.35	1.84	2.29
4	April	1.99	2.28	1.66	2.24
5	Mei	2.24	2.13	1.62	2.10
6	Juni	2.48	2.18	1.59	2.16
7	Juli	2.38	2.19	1.60	2.10
8	Agustus	2.11	2.22	1.62	2.15
9	September	1.70	2.24	1.69	2.15
10	Oktober	1.61	2.13	2.04	2.11
11	November	1.58	2.07	2.37	2.06
12	Desember	1.56	2.03	2.43	1.99

5. Faktor Surya

Daya yang dihasilkan oleh panel surya ditentukan oleh nilai faktor surya yang dihasilkan oleh radiasi matahari. Faktor surya berbeda dari setiap orientasinya.

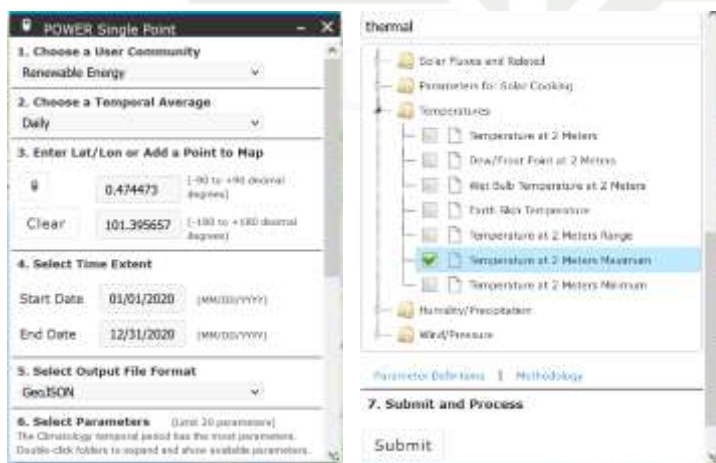
Tabel 3.2 Faktor surya vertical dari berbagai orientasi [30]

Orientasi	Faktor Surya (W/m ²)
Utara	130
Timur laut	113
Timur	112
Tenggara	97
Selatan	97
Barat daya	176
Barat	243
Barat laut	211

6. Data Temperatur

Temperatur merupakan faktor paling berperan dalam memaksimalkan proses konversi energi matahari menjadi energi listrik, dikarenakan semakin tinggi temperatur maka efisiensi PV akan berkurang. Saat beroperasi suhu ideal panel PV adalah 25°C.

Pada penelitian ini, data temperatur didapat dari situs *Nasa Power* pada koordinat latitudo 0.474473 dan longitudo 101.395657. data temperatur ini merupakan data dari bulan Januari 2020 sampai bulan desember 2020.



Gambar 3.6 Menentukan Parameter Pada *Nasa Power* [6].



Gambar 3.7 Temperatur pada Wilayah Kantor PU [6]

Tabel 3.3 Temperatur pada wilayah kantor PU [6]

No	Bulan	Temperatur (C°)
1	Januari	30,39
2	Februari	31,31
3	Maret	31,04
4	April	30,44
5	Mei	30,55
6	Juni	30,18
7	Juli	30,61
8	Agustus	30,78
9	September	31,09
10	Oktober	31,35
11	November	30,89
12	Desember	30,79

7. Spesifikasi *Amorphous Silicone*

Penelitian ini akan menggunakan panel bertipe *Amorphous Silicone* dengan design semitransparan yang dapat meneruskan cahaya yang masuk kedalam ruangan jika pemasangannya di jendela. Memiliki spesifikasi sebagai berikut.

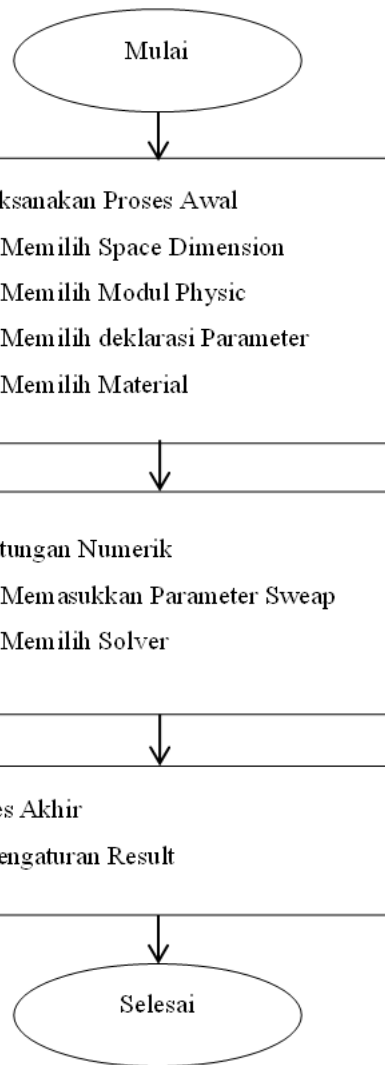
Tabel 3.4 Spesifikasi *Amorphous Silicone* [31]

Spesifikasi	
Jenis	<i>Amorphous Silicone</i>
<i>Max Power (Pmax)</i>	167Wp
<i>Max Voltage (Vmp)</i>	40,5 V
<i>Current (Imp)</i>	7,78 A
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	43 V
<i>Short Circuit Current</i>	8,3 A
Efisiensi Modul	15%
<i>Operating Temperature Range</i>	-40°C ~ + 70°C
<i>Width × Height × Depth</i>	60 mm × 120 mm × 6 mm
<i>Weight</i>	10 kg
<i>Temp. Coefficient (Pmax)</i>	-0,5%/°C
<i>Temp. Coefficient (Voc)</i>	-0,4%/°C
<i>Temp. Coefficient (Isc)</i>	0,088%/°C
<i>Life Time</i>	25 Tahun

PV dengan panel berjenis *Amorphous Silicone* merupakan salah satu jenis PV yang semi transparan. Pemilihan PV ini bertujuan agar saat dipasang PV pada jendela bangunan, tidak menghalangi cahaya yang masuk pada ruangan kantor.

3.6 Menghitung Potensi *Photovoltaic (PV)*

Dalam penelitian ini akan menghitung potensi dari PV yang akan diaplikasikan menjadi pembangkit listrik BIPV. Dalam menghitung potensi terlebih dahulu mencari temperatur PV saat beroperasi, temperatur PV dapat mempengaruhi efisiensi dari PV tersebut, sehingga mempengaruhi output dari PV. Untuk mencari nilai temperatur menggunakan aplikasi *Comsol Multyphysics 5.3a* dengan memasukkan nilai parameter berupa intensitas radiasi matahari, *temperature ambient*, properties material, dan kecepatan udara. Berikut tahapan dari proses simulasi *Comsol Multyphysic 5.3a*:



Gambar 3.8 Flowchart Simulasi

Diagram simulasi akan melalui beberapa tahapan dengan menggunakan *Comsol Multiphysics 5.3a* dengan proses sebagai berikut:

3.6.1 Melaksanakan Proses Awal

Pemrosesan awal, lakukan klik pada logo aplikasi yang ada didesktop



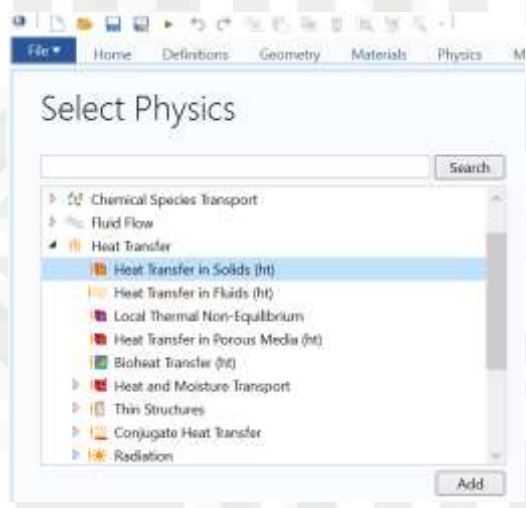
Gambar 3.9 Logo *Comsol Multiphysics 5.3a*

2. Setelah muncul halaman utama, maka akan tampil pemilihan *space dimension*, lalu klik 2D



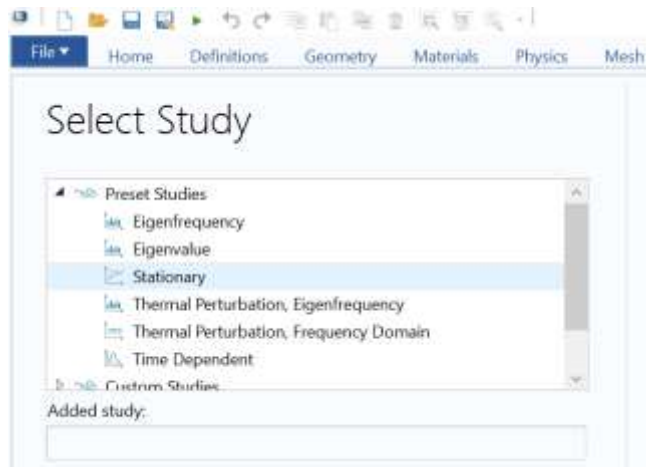
Gambar 3.10 *Select Space Dimension*

3. Setelah klik 2D maka akan tampil *Select Physic > Heat Transfer > Heat Transfer in Solid (ht)*, dan menambahkan *Fluid Flow > Single Phase Flow > Laminar Flow (spf)*. Jenis *Physics* ini dipilih berdasarkan persamaan matematis yang akan digunakan pada simulasi.



Gambar 3.11 *Select Physics*

4. Setelah *Select Physic*, klik logo *Study* lalu akan tampil *Select Study* dan klik *stationary* untuk menampilkan nilai temperatur PV, lalu klik *done*.



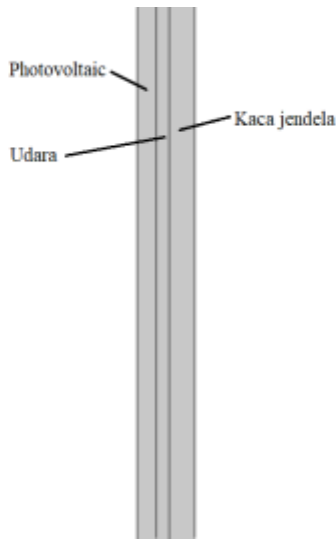
Gambar 3.12 Select Study

5. Selanjutnya memasukkan parameter yang digunakan sesuai kebutuhan dalam penelitian. (intensitas radiasi, dimensi, dll)

Name	Expression	Value	Description
L	120[cm]	1.2 m	Square side length
DeltaT	0.1[K]	0.1 K	Temperature difference
Tc	303.33[K]	303.33 K	Low temperature
Th	304.79[K]	304.79 K	High temperature
rho	1000[kg/m^3]	1000 kg/m ³	Density
h_pv	6.5	6.5	
A_pv	L*(t_pv+t_udara+t_kaca)	0.0288 m ²	
q_rad	95[W/m^2]	95 W/m ²	
t_pv	6[mm]	0.006 m	
t_udara	10[mm]	0.01 m	
t_kaca	8[mm]	0.008 m	
P	100.31[Pa]	100.31 Pa	
v	1.52[m/s]	1.52 m/s	

Gambar 3.13 Parameter dalam *Comsol Multyphysics 5.3a*

6. Setelah memasukkan parameter, proses selanjutnya memilih material yang akan digunakan dalam penelitian. *Comsol Multyphysics 5.3a* akan menampilkan model simulasi yang akan dilakukan.



Gambar 3.14 Pemodelan BIPV

3.6.2 Perhitungan Numerik

Perhitungan Numerik menggunakan *software Comsol*, merupakan proses yang dilakukan dari parameter variabel yang di inputkan pada *software comsol* yang didalam aplikasi akan secara otomatis dengan memilih *solve*.

3.6.3 Proses Akhir

Proses ini merupakan tahapan akhir dari simulasi yang akan dilakukan dengan aplikasi *Comsol Multyphysics 5.3a*. proses ini merupakan *result*, akan ditampilkan *grab* dari simulasi yang telah diinputkan pada aplikasi. Hasil dari proses akhir ini berupa nilai temperatur PV saat beroperasi.

3.6.4 Daya Yang Dihasilkan PV

Setelah menemukan nilai temperature PV pada wilayah kantor Dinas PU, dapat dicari nilai efisiensi PV, semakin tinggi temperatur PV makan semakin rendah efisiensi dari PV tersebut dengan menggunakan persamaan (2.5). Setelah mendapatkan efisiensi, maka *output* dari PV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6).

3.6.5 Validasi

Tahapan validasi merupakan suatu tahap dimana melakukan tindakan pembuktian dengan tindakan yang sama dengan cara atau metode yang terdapat pada penelitian sebelumnya untuk memperoleh hasil yang sama atau mendekati dari penelitian [32]. Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu melakukan proses validasi yang bertujuan untuk

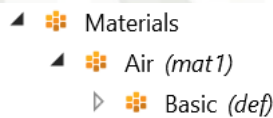
mengetahui pemodelan yang dilakukan betul atau tidak. Validasi dengan menginputkan parameter sesuai dengan jurnal. Pemodelan dikatakan valid jika *output* hasil yang sama dengan jurnal rujukan.

Dari hasil validasi pada sistem kaca ganda terhadap penelitian [32], dapat diperhatikan pada gambar 3.17 Dan 3.18 Dibawah ini. Untuk melakukan validasi dengan menggunakan *Comsol Multiphysics 5.3a* terlebih dahulu menginputkan parameter yang sesuai dengan jurnal rujukan.

Name	Expression	Value	Description
L	10[cm]	0.1 m	Square Side Length
DeltaT	10[K]	10 K	Temperatur difference
Tc	283.15[K]	283.15 K	Low temperature
Th	Tc+DeltaT	293.15 K	High Temperatur
rho	1000[kg/m^3]	1000 kg/m ³	density

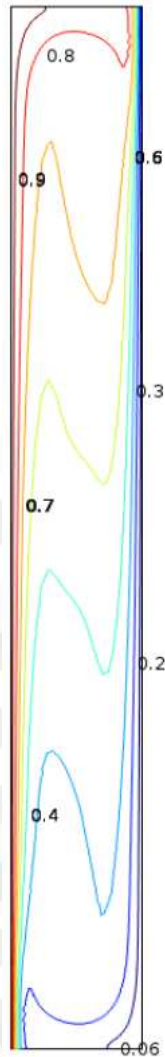
Gambar 3.15 *input* parameter pada *Comsol*

Parameter yang digunakan terdiri dari tinggi (L) sebesar 10 cm, *temperature difference* 10°K, *low temperature* sebesar 283,15°K, high temperatur sebesar 293,15°K dan *density* sebesar 1000 kg/m³. Setelah menginputkan pramater maka langkah selanjutnya adalah memilih material.



Gambar 3.16 material pada *comsol*

Material yang digunakan pada validasi ini adalah udara (*air*) sesuai dengan jurnal rujukan. Setelah itu, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *compute* pada *parameter sweep*. Untuk melihat output hasil dari simulasi *Comsol Multiphysics 5.3a* dapat dilihat pada gambar 3.17



Gambar 3.17 pola garis aliran temperatur ruang kaca ganda hasil simulasi

Gambar 3.17 merupakan pola garis aliran temperatur ruang kaca ganda yang dihasilkan dari proses *compute* pada *comsol multyphysics* 5.3a, ketika temperatur naik, gas bergerak dari dinding bawah menuju ke dinding kiri (panas) $0,9^{\circ}\text{C}$ dan berakhir ke dinding atas (dingin) disebelah kanan $0,06^{\circ}\text{C}$ temperatur berkurang di sepanjang dinding dingin, gas ini bergerak searah jarum jam didalam ruang jendela kaca ganda.

Untuk melihat hasil *output* dari penelitian [32] dapat dilihat pada gambar 3.18. parameter yang digunakan pada penelitian [32] terdiri dari tinggi, temperatur *difference*, *low* temperatur, *high* temperatur dan *density*. Material yang dimasukkan berupa udara (*Air*).



Gambar 3.18 pola garis aliran temperatur ruang kaca ganda hasil jurnal [32]

Terlihat pada gambar 3.18 menunjukkan pola garis-garis dan bidang suhu diruang jendela kaca ganda untuk udara dari jurnal rujukan dan simulasi penelitian yang dilakukan. Gambar 3.18 suhu dinding kiri lebih tinggi dari suhu dinding kanan, dinding kiri memancarkan panas ke gas dan menaikkan suhu partikel gas disebelah dinding kiri. Ketika suhu naik, gas bergerak dari dinding kiri (panas) $0,8^{\circ}\text{C}$ ke dinding kanan (dingin) $0,2^{\circ}\text{C}$ dan berkurang disepanjang dinding dingin. Semakin meningkat ke dinding panas. Gerakan gas ini membentuk rotasi partikel gas searah jarum jam didalam ruangan jendela kaca ganda dan bidang suhu dimulai pada dinding panas atau adari dinding dibawah dan berakhir di dinding atas atau dingin.

Dari model validasi dan penelitian [32], dapat dikatan bahwasanya validasi yang dilakukan mendekati dari hasil yang diperoleh dalam penelitian [32], dan dapat dinyatakan

bahwasanya validasi yang dilakukan pada simulasi berdasarkan pada gambar 3.17 merupakan valid dan sesuai, karena mendekati dari hasil penelitian [32]. Setelah didapatkan hasil *output* simulasi sama dengan jurnal rujukan, maka pemodelan dapat dilakukan dengan menginputkan parameter sesuai dengan penelitian ini yaitu data historis, propertis material dan dimensi kaca ganda.

3.7 Perhitungan Aspek Teknis dan Ekonomis

Adapun metode yang akan dilakukan pada aspek teknis dan ekonomis sebagai berikut:

3.7.1 Aspek Teknis

Penelitian ini akan menghitung nilai dari aspek teknis dan aspek ekonomis dari pemasangan pembangkit listrik BIPV yang akan dipasang pada kaca jendela kantor Dinas Pekerjaan Umum.

3.7.1.1 Menghitung Luasan Kaca dan Jumlah PV

Menghitung luasan PV menggunakan aplikasi *Autocad* 2017. Tahapan ini mencari luas media kaca yang akan dipasang PV, setelah luas kaca diperoleh, maka jumlah PV yang akan dipasang dapat ditentukan. Perhitungan yang dilakukan secara manual dengan mencari nilai luas sebenarnya dengan skala yang terdapat pada *design* bangunan. Setelah nilai luas kaca didapatkan, maka luas kaca jendela tersebut dibagi dengan dimensi PV dengan jarak antara PV sejauh 30 cm.

3.7.1.2 Matching Array dengan Inverter

Kapasitas inverter tergantung dari panel surya yang akan digunakan. Inverter memiliki fungsi sebagai mengubah arus listrik DC menjadi arus listrik AC agar energi listrik dapat digunakan untuk perangkat elektronik yang menggunakan arus AC. Perhitungan yang terkait perhitungan *array* dengan inverter dapat menggunakan persamaan (2.7 s/d 2.13).

3.7.1.3 Losses

Energi yang dihasilkan juga di pengaruhi oleh *losses* yang dapat mengurangi energi yang dihasilkan oleh PV. Dalam penggunaan PV, energi yang di terima, tidak sepenuhnya di konversi menjadi listrik, terdapat *losses* yang menyebabkan energi yang dihasilkan berkurang yakni suhu dari modul surya. Ada beberapa *losses* yang terdapat dalam pemasangan BIPV yaitu *drop* tegangan, debu dan kotoran, *shading*, temperatur, toleransi pabrik.

3.7.1.4 Hasil Produksi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan dari sistem BIPV dapat ditentukan dari luas PV *array*, radiasi matahari dan efisiensi sistem BIPV. Untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan sistem BIPV pada gedung Kantor Dinas Pekerjaan Umum yang terlebih dahulu menghitung efisiensi kemudian menentukan inverter yang cocok yang akan digunakan untuk sistem BIPV. Untuk perhitungan hasil produksi listrik dengan menggunakan persamaan (2.5, 2.6, 2.14).

3.7.1.5 Performa Rasio (*Ratio Performance*)

Rasio performa merupakan rasio dari jumlah sebenarnya energi PV yang dikirim ke jaringan utilitas dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah teoritis energi yang dihasilkan oleh modul PV dibawah kondisi uji standar (STC). Untuk menghitung performa rasio dapat menggunakan persamaan (2.15).

3.7.1.6 Kapasitas Faktor (*Factor Capacity*)

Kapasitas Faktor adalah total energi yang dapat dihasilkan selama siklus waktu tertentu dibagi dengan output dari BIPV akan menghasilkan daya pada kapasitas penuh. Untuk menghitung faktor kapasitas dapat menggunakan persamaan (2.16).

3.7.2 Aspek Ekonomis

Analisis perhitungan ekonomis menghitung biaya investasi awal, biaya siklus hidup (LCC). Pada analisis *Life-Cycle Cost*, dihitung masa sekarang dan yang akan datang berhubungan dengan sistem BIPV yang akan dipasang. Selanjutnya menghitung *Net Present Value* (NPV) yang digunakan untuk menghitung keuntungan dari proyek yang dibangun. NPV membandingkan nilai uang yang diterima hari ini dan nilai pada masa yang akan datang dengan memasukkan variabel inflasi dan laju pengembalian. Kemudian menghitung *Internal Rate of Return* (IRR), IRR adalah besar tingkat keuntungan untuk melunasi pinjaman uang untuk mencapai keseimbangan kearah nol dengan pertimbangan keuntungan. Menghitung *Payback Period* (PP), PP adalah waktu yang diperlukan agar investasi yang telah dikeluarkan kembali pada investor. Perhitungan PP dilakukan untuk mengetahui resiko yang terjadi dalam keuangan terhadap proyek yang telah dilakukan. Nilai dari PP yang kecil akan semakin baik yang artinya pengembalian modal investasi akan semakin cepat dengan waktu yang cepat. Menghitung aspek kelayakan ekonomis dapat menggunakan persamaan (2.17-2.24).

3.8

Penilaian Kelayakan

Penilaian kelayakan yang menentukan potensi dari pemasangan PV berupa efisiensi PV daya yang dihasilkan PV tidak jauh berkurang dari standar yang terdapat pada spesifikasi PV. Penilaian kelayakan aspek teknis berupa sistem yang dipasang dapat menghasilkan listrik dan dapat mengurangi konsumsi listrik pada kantor Dinas PU. Penilaian kelayakan ekonomis, jika NPV dan IRR lebih besar dari nol (0) maka investasi proyek dinyatakan layak. Kemudian nilai Payback Period yang nilainya lebih rendah dari umur proyek.

3.9

Analisis

Analisis potensi dinilai dari PV yang terpasang tidak mengalami penurunan efisiensi yang jauh dari standar STC dan dapat menghasilkan energi listrik. Analisis teknis dinilai dari energy yield dan sistem pembangkit BIPV dapat mengurangi biaya konsumsi listrik pada gedung kantor Dinas PU. Analisis ekonomis dinilai dari LCCA, IRR, Cash Flow, NVP, PWF, dan *Payback Period*.

Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Penulisan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Penulisan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB V PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengolahan data Analisis Teknis Dan Ekonomis Pembangkit Listrik *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV) (Studi Kasus: Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau), tahapan penelitian ini yaitu menghitung potensi listrik, analisis teknis, dan analisis ekonomis diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dipengaruhi oleh temperatur modul surya itu sendiri. Pada orientasi utara dengan temperatur *photovoltaic* sebesar 303,5°K, orientasi timur sebesar 303,46°K, orientasi selatan sebesar 303,42°K, dan orientasi barat sebesar 303,63°K. Temperatur PV mempengaruhi efisiensi PV yang berbeda setiap orientasinya, orientasi utara 14,58%, orientasi timur 14,59%, orientasi selatan 14,59%, dan orientasi barat 14,57%. Sehingga menghasilkan energi listrik pada orientasi utara sebesar 304,971 Wh, timur sebesar 456,816 Wh, selatan sebesar 317,065 Wh, dan orientasi barat sebesar 345,552 Wh.
2. Dalam sistem BIPV pada jendela kaca kantor dinas Pekerjaan Umum, dapat dipasang sebanyak 1553 modul PV dari seluruh orientasi. Membutuh 3 unit inverter Huawei SUN2000-100KTL-M0 dengan kapasitas 110.000 W, masing-masing inverter dapat menampung sebanyak 658 modul PV. sistem BIPV *On-Grid* dengan losses 12,66% sehingga memiliki efisiensi sebesar 87,34%. Rata-rata energi listrik yang dihasilkan dalam 1 tahun pada orientasi utara sebesar 3,4 MWh, orientasi timur sebesar 4,41 MWh, orientasi selatan sebesar 3,53 MWh, dan orientasi barat sebesar 2,47 MWh, sedangkan hasil produksi energi per tahun sebesar 144,8 MWh. Sistem BIPV pada kantor dinas Pekerjaan Umum dengan Rasio Performa sebesar 76% dan Faktor Kapasitas sebesar 6,3%.
3. Hasil analisis ekonomis, investasi awal sistem pembangkit listrik BIPV sebesar Rp.2.259.446.557, dengan biaya *operation & maintenance* sebesar Rp.22.594.465 dan replacement cost sebesar Rp.210.177.000. Penjualan listrik hasil produksi BIPV menghasilkan nilai NPV positif yaitu sebesar Rp.9.503.705.047, IRR sebesar 21,2%

dan Payback Period selama 5,8 tahun. Berdasarkan hasil dari analisis finansial pembangkit listrik BIPV pada kantor dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau layak untuk dibangun.

2.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan diatas, maka dapat diajukan beberapa saran agar penelitian ini bermanfaat dan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dimasa yang akan datang. Untuk penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan titik kemiringan, drop tegangan dari pemasangan BIPV, serta pemasangan BIPV pada seluruh selubung bangunan.

Hak Cipta Ditinjau Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Penutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Penutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN, "Statistik PLN 2021," 2021.
- [2] PT PLN, "PLN Statistics 2018," *Sekr. Perusah. PT PLN*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2018.
- [3] BPS Pekanbaru, "Banyaknya Produksi Tenaga Listrik Dirinci Menurut Jenis Pelanggan Tahun 2017-2020," 2021. <https://pekanbaru.kota.bps.go.id/>
- [4] P. Riau, "Gubri Resmikan Kantor PU Riau," 2013. <https://www.riau.go.id/>
- [5] D. PU, "Rincian Belanja Listrik dan Internet 2020," Riau, 2020.
- [6] NASAPOWER, "Temperatur Wilayah," 2021. <https://power.larc.nasa.gov>
- [7] D. Y. Sukma, "Ketersediaan Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Tenaga Surya di Kota Pekanbaru," vol. 16, no. September, pp. 62–69, 2017.
- [8] B. Solar, "6 Keuntungan Utama dari Integrasi Bangunan Photovoltaic (BIPV)." <https://www.id.bluesunpv.com/>
- [9] GSES, *Global Sustainable Energy Solution*. 1998.
- [10] D. Yulianti *et al.*, "Analisis Peforma Listrik dan Termal Jendela Kaca Ganda Low E terintegrasi Solar Window Semitransparent Photovoltaic (STPV) di Riau," 2020.
- [11] A. Nugroho, "Perancangan Pembangkit Listrik Building Integrated Photovoltaic (BIPV) On-Grid System (Studi Kasus : Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau)," 2020.
- [12] A. K. Athienitis, L. Candanedo, and K. Park, "Numerical and Experimental Study of Heat Transfer in a BIPV-Thermal System," vol. 129, pp. 423–430, 2007, doi: 10.1115/1.2770750.
- [13] C. R. S.G., Ramadhan, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti," pp. 1–11, 2016.
- [14] A. H. Syam, "Pemodelan Solar Window Semitransparent Photovoltaic Panels Untuk Menghasilkan Potensi Energi Listrik (Studi Kasus: Pekanbaru, Riau)," 2021.
- [15] D. Almanda and B. P. Piliang, "Perbandingan Sistem Pendingin pada Konsentrasi Water Coolant , Air Mineral , dan Air Laut Menggunakan Panel Surya Fleksibel Monocrystalline 20 Wp," vol. 2, no. 2, pp. 73–82.
- [16] T. T. Gultom, "Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya," pp. 33–42, 2013.
- [17] B. H. Purwoto, Jatmiko, M. A. F, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber," *Emitor*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, [Online]. Available: <https://journals.ums.ac.id/index.php/emitor/article/view/6251>

- [18] D. H. W. Li, T. N. T. Lam, W. W. H. Chan, and A. H. L. Mak, "Energy and Cost Analysis of Semi-Transparent Photovoltaic in Office Buildings," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 722–729, 2009, doi: 10.1016/j.apenergy.2008.08.009.
- [19] UMY, "Apa dan Bagaimana Sistem Kerja Panel Surya?," 2021. <https://elektro.ummy.ac.id/>
- [20] D. E. Attoye, K. A. T. Aoul, and A. Hassan, "A review on building integrated photovoltaic façade customization potentials," *Sustain.*, vol. 9, no. 12, 2017, doi: 10.3390/su9122287.
- [21] T. San Ong and C. Hau Thum, "Net Present Value and Payback Period for Building Integrated Photovoltaic Projects in Malaysia," *Int. J. Acad. Res. Bus. Soc. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 153–171, 2013, [Online]. Available: www.hrmars.com/journals
- [22] B. Indonesia, "BI 7 Day (Reverse) Repo Rate," 2022. <https://bi.go.id/> (accessed Feb. 01, 2022).
- [23] Drs. M. Giatman, *Ekonomi Teknik*. 2006.
- [24] A. E. Setyanto, "Memperkenalkan Kembali Metode Eksperimen dalam Kajian Komunikasi," *J. ILMU Komun.*, vol. 3, no. 1, pp. 37–48, 2013, doi: 10.24002/jik.v3i1.239.
- [25] B. K. Khotimah, *Teori Simulasi dan Pemodelan: Konsep, Aplikasi dan Terapan*. 2015.
- [26] V. Bhaskar, "Introduction to COMSOL Multiphysics Introduction to COMSOL Multiphysics," ©. *COMSOL Multiphysics, Burlington, MA*, 1998.
- [27] B. T. Ujianto, "Modul Ajar Dasar AutoCad 2016," p. 57, 2017.
- [28] Peta, "Google Maps." <https://googlemaps.com/>
- [29] P Calculator, "Radiasi Matahari." <https://pvwatts.nrel.gov>
- [30] O. Article, "Perancangan Sistem Pemanenan Energi Surya Terintegrasi Kaca Bangunan, Studi Kasus : Gedung Bandar Lampung," vol. 3, no. July, pp. 78–88, 2019.
- [31] Solar First, "Data Sheet Amorphous Silicone," 2022. <https://firstsolar.com>
- [32] M. Y. Othman and K. Bin Sopian, "Thermal Analysis and Performance of Double Glazing Window with Semi-transparent Photovoltaic Module Analisis Termal dan Prestasi Tetingkap Dwi Kaca dengan Modul Fotovoltan Semi-lutsinar," no. April, 2014.

LAMPIRAN

1. Rincian belanja listrik dan internet 2020

Bulan	Listrik	Energy
Januari	Rp. 354.797.340	1,895.673 kWh
Februari		
Maret	Rp.174.024.358	
April	Rp.181.264.305	
Mei	Rp.143.836.121	
Juni	Rp.140.056.820	
Juli	Rp.126.271.641	
Agustus	Rp.121.934.749	
September	Rp.103.046.085	
Oktober	Rp.119.226.261	
November	Rp.109.764.567	
Desember	Rp.143.111.113	
Total	Rp.1.717.333.360	

2. Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun pada orientasi utara

Bulan	Energi (MWh)
Januari	2,88
Februari	2,94
Maret	3
April	3,61
Mei	4,06
Juni	4,5
Juli	4,31
Agustus	3,82
September	3,07
Oktober	2,9

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

November	2,86
Desember	2,82

3. Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun orientasi timur

Bulan	Energi (MWh)
Januari	4,5
Februari	4,6
Maret	4,71
April	4,58
Mei	4,28
Juni	4,39
Juli	4,4
Agustus	4,46
September	4,49
Oktober	4,26
November	4,15
Desember	4,07

4. Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun orientasi selatan

Bulan	Energi (MWh)
Januari	4,74
Februari	4,24
Maret	3,33
April	3,01
Mei	2,94
Juni	2,89
Juli	2,9
Agustus	2,93
September	3,05
Oktober	3,68

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Penulisan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Penulisan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

November	4,29
Desember	4,4

5. Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun orientasi barat

Bulan	Energi (MWh)
Januari	2,38
Februari	2,49
Maret	2,65
April	2,61
Mei	2,44
Juni	2,52
Juli	2,44
Agustus	2,5
September	2,49
Oktober	2,44
November	2,39
Desember	2,31

6. Energi yang dihasilkan selama 20 tahun umur sistem

Tahun	Energi (MWh)	Tahun	Energi (MWh)
1	144,8	11	91,3
2	138,28	12	87,2
3	132,06	13	83,3
4	126,11	14	79,5
5	120,44	15	76
6	115,02	16	72,58
7	109,8	17	69,31
8	104,9	18	66,19
9	100,1	19	63,21
10	95,6	20	60,3

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Penulisan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Penulisan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

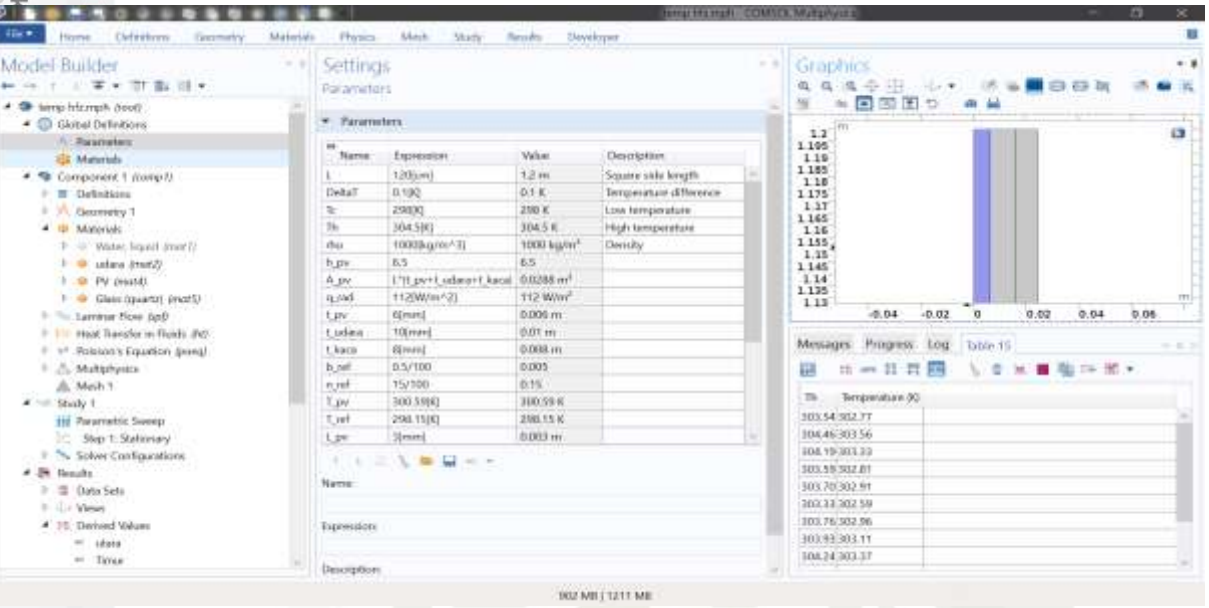
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hal 7

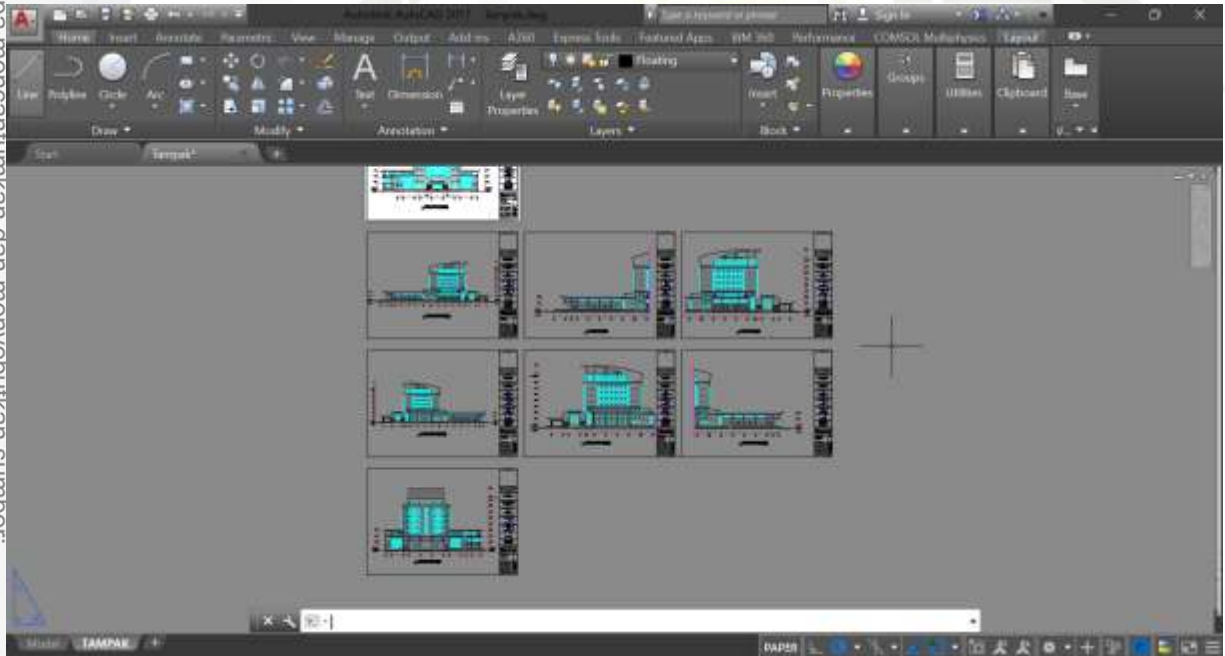
1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

2. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Tampilan Software Comsol Multiphysics 5.3a



8. Tampilan Software Autocad 2017





DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Hafizh Al Hady, lahir di Kota Payakumbuh 28 September 1996, anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak Hendri Yanto, S.Sos dan Ibu Elviyantri Susi, S.Pd yang beralamat di Jalan Gatot Subroto, Komplek Pasifik, Kelurahan Ibh, Kecamatan Payakumbuh Barat, Kota Payakumbuh.

Penulis dapat dihubungi melalui:

Email : hafizh.alhady@gmail.com

No. Hp: 082283434824

Pengalaman pendidikan yang pernah ditempuh penulis dimulai dari SDN 21 Kota Payakumbuh pada tahun 2003-2009 dan dilanjutkan ke SMPN 1 Payakumbuh pada tahun 2009-2012, dilakukan ke SMAN 1 Payakumbuh pada tahun 2012-2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Energi dengan penelitian yang berjudul “Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV) (Studi Kasus: Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Riau)”

Hak Cipta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.